corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 14 - 21 gennaio 1961 un fascicolo lire 150 16° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

LA VALVOLA TERMOIONICA : IL TRIODO

Un triodo non differisce molto da un diodo nella sua struttura e nella sua realizzazione, se si eccettua, come abbiamo già accennato, la presenza di un *terzo* elettrodo. Questo elettrodo aggiunto è la **griglia pilota** o **griglia di controllo**; esso è posto tra il catodo e la placca. La presenza della *griglia* ha reso possibile l'amplificazione, mediante la quale si può aumentare, praticamente a qualsiasi valore, l'ampiezza di un segnale, per quanto debole esso sia.

Il triodo può essere considerato perciò, il primo dispositivo realmente efficace che, ricevendo un debole segnale elettrico, ne aumenta l'intensità senza frapporre ritardi o inerzia, e senza distorcerlo, cioè senza variarne la forma primitiva.

La **figura 1 A** illustra la sezione trasversale di un triodo a riscaldamento indiretto. L'elemento nuovo, vale a dire l'elettrodo aggiunto rispetto ad un diodo, ossia la griglia, è la spirale di sottile filo metallico avvolta intorno al catodo, ad una certa distanza, e da esso isolata. La griglia è illustrata con maggiori dettagli alla figura 1 **B**, ove si vedono le due sbarrette metalliche di sostegno e gli spazi vuoti tra una spira e l'altra, opportunamente calcolati per permettere il passaggio degli elettroni dal catodo alla placca. Naturalmente, le griglie possono assumere aspetto diverso ed essere, ad esempio, avvolte a spire ellittiche, anzichè circolari, a spire variamente addensate, anzichè uniformemente spaziate, ecc.

Funzionamento

Il compito della griglia consiste dunque nel controllare la quantità di elettroni che si spostano dal catodo alla placca. In un diodo, per contro, si è visto che tale controllo può essere effettuato soltanto, o variando la temperatura del catodo (ciò che raramente avviene) o variando la tensione di placca.

Dalla curva caratteristica di un diodo (vedi, ad esempio, figura 11 a pagina 342 - lezione 43ª), si può notare che la tensione di placca deve subire notevoli variazioni per far variare la corrente di placca dal punto « S » di saturazione, a zero. Un triodo, invece, consente il medesimo risultato con variazioni molto minori di una tensione applicata alla griglia.

Supponiamo di portare la griglia ad un potenziale leggermente negativo rispetto al catodo. Ciò può essere ottenuto mediante l'impiego di una comune batteria a bassa tensione. Questo potenziale negativo di griglia respingerà una parte degli elettroni (non tutti) che si dirigono dal catodo alla placca. Se la griglia viene resa maggiormente negativa, il numero di elettroni che potrà raggiungere la placca subirà un'ulteriore riduzione.

Il potenziale che la griglia presenta rispetto al catodo, viene denominato **polarizzazione di griglia.**

Osserviamo ora i tre disegni della **figura 2**, allo scopo di comprendere in qual modo la griglia eserciti la sua azione di controllo sulla corrente anodica; essi rappresentano la sezione trasversale di un triodo. In **A**, abbiamo il caso in cui la tensione di griglia è zero. Essa non ha perciò alcuna influenza sul passaggio degli elettroni, e la corrente anodica scorre esattamente come scorrerebbe in un diodo. In **B**, appare invece evidente ciò che accade quando la griglia viene resa leggermente negativa: dal momento che anche gli elettroni sono negativi, alcuni vengono respinti verso il catodo dal quale provengono, e solo una parte di essi ha energia sufficiente per raggiungere la placca. Nella sezione **C**, infine, la griglia ha un potenziale fortemente negativo: tutti gli elettroni vengono respinti verso il catodo, e la corrente anodica cessa completamente di scorrere.

Da questa succinta esposizione del fenomeno, si comprende come il vantaggio del triodo nei confronti del diodo consista nel fatto che piccole variazioni di tensione della griglia pilota possono controllare notevoli variazioni nella corrente anodica.

Curve caratteristiche

Il triodo di cui allo schema di **figura 3**, è collegato in modo che, sia la tensione di placca che quella di griglia, possono essere variate rispetto al catodo. La corrente di placca può essere misurata in corrispondenza di qualsiasi valore di tensione di placca o di griglia. Se il valore della tensione di placca viene mantenuto costante, le variazioni della corrente anodica nei riferimenti alla tensione di griglia, possono essere indicate su di un grafico come una curva. Una curva del genere è quella riportata in **figura 4**; essa è nota col nome di *curva* E_g-I_p

Ogni punto della curva E_g-I_p permette di individuare il valore della corrente anodica corrispondente ad una data tensione di griglia. Allorchè quest'ultima diventa sufficientemente negativa, viene impedito totalmente il passaggio di corrente nella valvola. Nella curva presa ad esempio alla **figura 4**, si può notare che per la tensione anodica stabilita in 100 volt, la corrente anodica cessa di scorrere per una polarizzazione negativa di griglia pari a —5,5 volt. Il valore ultimo citato, prende il nome di

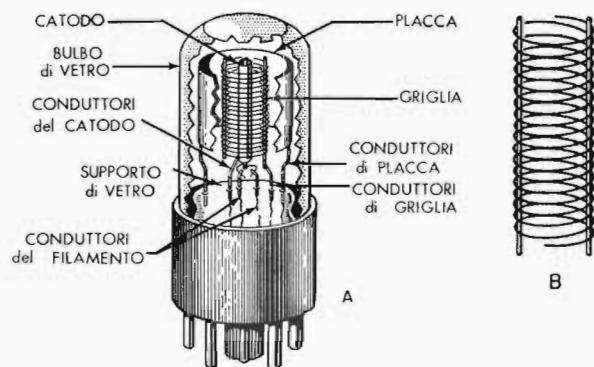



Fig. 1 — Aspetto interno di un triodo ad accensione indiretta sezionato. In A sono visibili tutti gli elettrodi nelle rispettive posizioni: in B è visibile la griglia ingrandita.

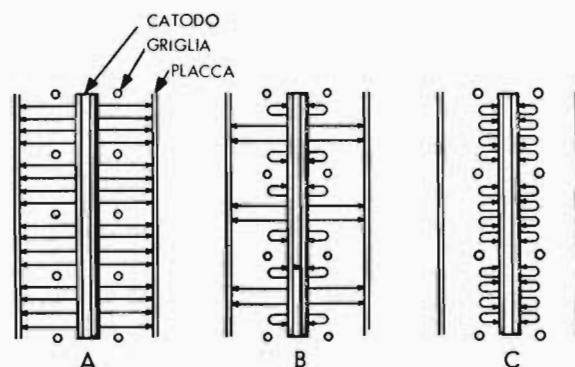



Fig. 2 — Effetto della tensione negativa di griglia: in A essa è nulla, in B è lieve, ed in C è alta, e non passano elettroni.

tensione di interdizione (in inglese: « cut off voltage »). Man mano che la tensione di griglia diventa meno negativa, la corrente anodica scorre, così come indicato dalla curva stessa. È importante notare che una parte di quest'ultima è pressochè una linea retta. In questo tratto della curva, una variazione della tensione di griglia provoca una corrispondente variazione « lineare » della corrente anodica. Molto spesso i triodi vengono fatti funzionare lungo il tratto lineare della loro caratteristica polarizzando la griglia pilota in modo tale che il segnale a corrente alternata che si somma a tale polarizzazione ne sposti il valore, senza però che vengano mai oltrepassati i limiti del tratto rettilineo.

Quando la griglia diventa *positiva*, si comporta come un anodo e perciò assorbe elettroni dal catodo. Quando ciò avviene, si ha una **corrente di griglia.**

Come nel diodo si ha, anche nel triodo, una tensione critica di placca alla quale corrisponde una corrente di saturazione, ossia un valore di tensione positiva dell'anodo tale che, per quanto venga aumentato, non ne consegue più alcun aumento della corrente anodica. La differenza consiste nel fatto che detta tensione critica — e quindi la corrispondente corrente di saturazione — varia nel triodo in funzione della tensione di griglia.

Se infatti, quest'ultima ha valore zero, la tensione critica avrà un valore stabile, come se si trattasse di un diodo: se vi è una polarizzazione negativa, la tensione critica di placca sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà il valore negativo di polarizzazione: infatti, maggiore sarà la forza di attrazione che la placca dovrà esercitare sugli elettroni per assorbirli tutti, vincendo la forza contraria causata dalla griglia. Nel caso opposto — e cioè di polarizzazione positiva di griglia — dal momento che parte degli elettroni emessi dal catodo vengono assorbiti dalla griglia stessa, è logico dedurre che la tensione critica avrà un valore inferiore.

In altre parole, è possibile determinare infiniti valori della tensione critica o di saturazione, corrispondenti ad altrettanti valori positivi o negativi della tensione di griglia rispetto al catodo.

La curva di figura 4 è stata ricavata per un solo valore della tensione di placca (100 volt): naturalmente, è possibile ricavare altre curve per altrettanti valori. Quando, così facendo, si affiancano diverse curve di un unico grafico, si ottiene — così come abbiamo visto per il diodo — una « famiglia di curve ». Più esattamente si tratterà, in questo caso, di una famiglia di curve E_g-I_p: un esempio del genere è quello riportato in **figura 5.**

Un altro tipo di famiglia di curve, che fornisce i medesimi dati, è quello illustrato dalla **figura 6.**

Ogni curva di questo secondo grafico viene ricavata mantenendo costante il valore della tensione di griglia E_g, e segnando i valori della corrente di placca, I_p, corrispondenti ai vari valori della tensione di placca, E_p. Questa famiglia di curve, in sostanza non è che un secondo sistema per esprimere quanto è enunciato anche dal grafico della figura 5.

Si può notare quanto si è già affermato e cioè che, se la griglia a un potenziale negativo, la corrente anodica non ha inizio se la tensione di placca, E_p, non ha raggiunto un valore sufficientemente alto da vincere l'azione della griglia. Si noti anche come la corrente anodica aumenti con l'aumentare della tensione di placca.

La famiglia di curve E_p-I_p fornisce gli stessi dati delle curve E_g-I_p, sebbene in forma diversa. Normalmente, nei manuale forniti dai fabbricanti di valvole, sono riportate le famiglie di curve E_p-I_p. Entrambi i tipi sono noti col nome di curve caratteristiche **statiche** della valvola; statiche, in quanto sono rilevate con potenziali fissi di corrente continua. in ogni punto. In pratica, le valvole vengono impiegate sovrapponendo potenziali alternati alle tensioni fisse di polarizzazione. Tuttavia, dalle suddette curve statiche è possibile ricavare diversi dati che si dimostrano di grande utilità nell'analisi del funzionamento di una valvola in un circuito con componenti alternate.

Amplificazione

Una delle caratteristiche più importanti del triodo (e di altre valvole a più elementi, che vedremo in seguito) consiste dunque, come si è già fatto osservare, nella sua possibilità di tradurre piccole variazioni della tensione di griglia in variazioni della corrente anodica notevolmente più elevate: in tal modo si determina la cosiddetta « amplificazione ».

Si può dire che la griglia funzioni come un dispositivo valvolare atto a controllare la corrente anodica, in quanto le variazioni della tensione di polarizzazione di griglia hanno un effetto assai più rilevante sulla corrente di placca di quanto non facciano le variazioni della tensione anodica.

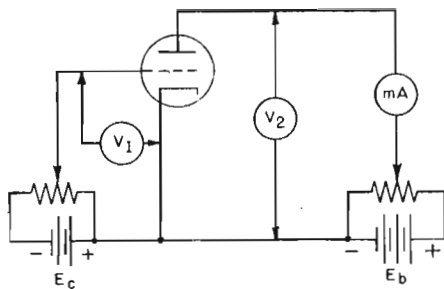



Fig. 3 — Circuito di un triodo provvisto di batteria anodica e di griglia. La corrente di placca varia variando entrambe le tensioni a mezzo dei due potenziometri.

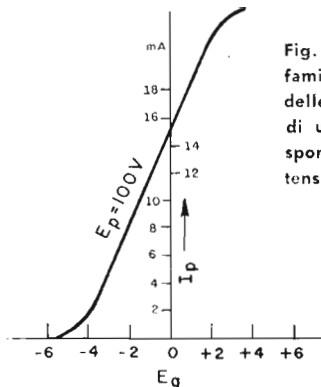
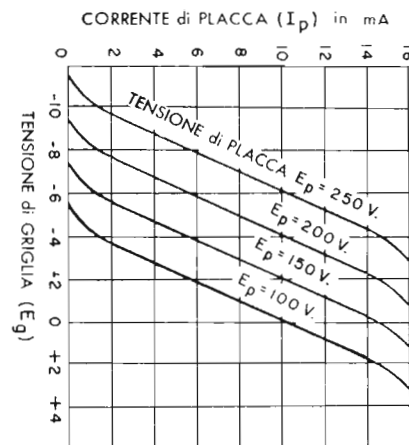



Fig. 4 — Curva tipica della relazione tra E_g ed I_p in un triodo.

Fig. 5 — Tipica famiglia di curve delle relazioni E_g-I_p di un triodo, corrispondenti a varie tensioni anodiche.

Per meglio illustrare quanto sopra, consideriamo un momento il circuito di **figura 7**. In esso, la placca ha una tensione positiva tale a chè la valvola funzioni sulla curva E_g-I_p illustrata nella **figura 8**.

Al conduttore di griglia è applicata una bassa tensione fissa negativa, in modo che il punto di funzionamento sulla curva sia *P*. Alla polarizzazione fissa di griglia viene sovrapposto un segnale a corrente alternata. Detto segnale è rappresentato in forma di sinusoide nella parte inferiore della figura, sotto alla curva. La corrente anodica risultante all'uscita della valvola è rappresentata anch'essa come una sinusoide, a destra della curva.

È facile notare che, se la tensione di griglia diventa più positiva, la corrente anodica aumenta, e viceversa; e che la forma d'onda della corrente anodica è l'esatta riproduzione della tensione alternata di ingresso applicata alla griglia, sintanto che la valvola funziona lungo il tratto rettilineo della sua curva caratteristica. Se il punto centrale di lavoro *P* fosse stato spostato leggermente in basso o notevolmente in alto, la forma d'onda applicata in entrata sarebbe risultata in uscita con notevoli deformazioni che, in linguaggio corrente, costituiscono la **distorsione di forma**.

È opportuno aggiungere inoltre che, finchè la tensione di griglia viene mantenuta ad un valore inferiore a zero, non si ha mai la presenza di corrente di griglia; pertanto non viene spesa alcuna energia da parte di quest'ultima.

CARATTERISTICHE delle VALVOLE TERMOIONICHE

Fattore di amplificazione

Il grado di attitudine di una valvola ad amplificare è noto come **fattore di amplificazione** ed è rappresentato normalmente dalla lettera greca μ (mu). Esso è il rapporto tra le variazioni della tensione di placca e le variazioni della tensione di griglia, necessario per mantenere costante la corrente anodica. L'equazione che esprime questo rapporto, cioè il fattore di amplificazione, è la seguente:

$$\mu = \frac{\Delta E_p}{\Delta E_g} \quad \text{(essendo } I_p \text{ costante).}$$

Il triangolo Δ (lettera greca «delta») è il simbolo adottato per una «piccola variazione».

Supponiamo ad esempio che la variazione di 1 volt della tensione di griglia provochi una variazione di 1 milliampère nella corrente di placca. Se, in queste condizioni, è necessario aumentare la tensione anodica di 20 volt allo scopo di aumentare la corrente di placca del medesimo ammontare (1 mA), si dice che la valvola ha un fattore di amplificazione pari a 20. Il fattore di amplificazione di una valvola si riferisce a determinate e note condizioni di lavoro, come ad esempio la polarizzazione di griglia e la tensione di placca. Tale valore, «mu», varia col variare delle condizioni di lavoro, pur restando costante durante il tratto rettilineo della curva caratteristica. Esso rappresenta il massimo guadagno di tensione che è possibile ricavare dalla valvola. In pratica però, il guadagno finale ottenuto è sempre leggermente inferiore a quello del μ della valvola.

Resistenza di placca

Oltre ad avere un μ o fattore di amplificazione, ogni valvola ha una **resistenza di placca**. La resistenza di placca di una valvola consiste nell'opposizione che la valvola offre al passaggio della corrente; è, si può dire, la resistenza che sussiste tra il catodo e la placca. Tale resistenza è una caratteristica importante, in quanto indica la differenza di potenziale che esiste tra gli elettrodi per una data corrente, attraverso la valvola.

Dalla legge di Ohm, sappiamo che la resistenza di qualsiasi dispositivo è data da $R=E:I$, nella quale *E* è la tensione, *I* la corrente ed *R* la resistenza. Quando il dispositivo presenta un valore resistivo costante, come avviene nelle comuni resistenze, è possibile in qualsiasi momento misurare *E* ed *I* e ricavare *R*. Ad esempio, richiamandoci ancora alla figura 11 di pagina 342, osserviamo la curva contrassegnata «2»: essa è la curva caratteristica di una resistenza. In qualsiasi punto di tale curva, ove sia possibile misurare *E* sull'asse verticale (ordinate) si può misurare *I* sull'asse orizzontale (ascisse) e constatare che dividendo *E* per *I*, si ottiene sempre lo stesso valore. Si noti che detto rapporto è l'inverso (o reciproco) della tangente dell'angolo che la curva forma con l'asse orizzontale, in altre parole, la resistenza è l'inverso del grado di pendenza della curva stessa. Ad una elevata resistenza corrisponde una curva caratteristica con bassa pendenza.

Quando si vuol trovare la resistenza di placca di una

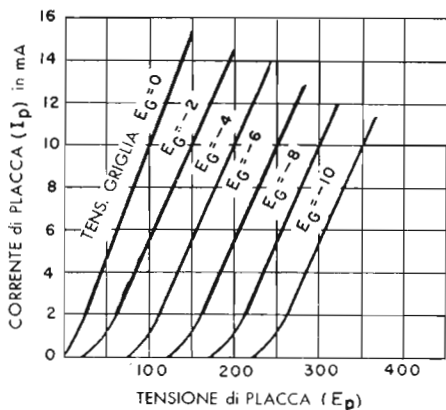



Fig. 6 — Tipica famiglia di curve E_p-I_p di un triodo. Ciascuna di esse è riferita a una data tensione di polarizzazione di griglia. La loro interpretazione consente di ricavare dalla valvola le massime prestazioni.

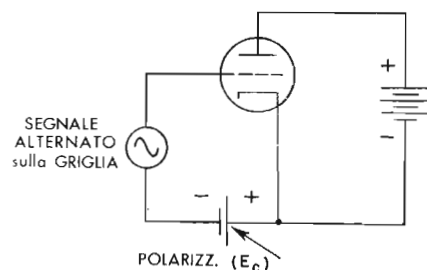



Fig. 7 — Schema di principio di utilizzazione di un triodo come stadio amplificatore. Alla tensione di griglia viene sovrapposta una tensione alternata che costituisce il segnale.

valvola, si può scegliere qualsiasi punto della curva caratteristica E_p-I_p, e dividere il valore di E_p in quel punto per il valore di I_p corrispondente. Il risultato è il valore della resistenza di placca alla corrente continua, per quel punto. Tuttavia, quando si usa la valvola come amplificatrice, la stessa deve lavorare lungo una zona della sua curva caratteristica e non in un solo punto; sfortunatamente, la resistenza di placca alla corrente continua non è costante in tutti i punti della curva. Questo fatto è evidente dalla curva « 1 » della figura 11 di pagina 342. La « curva » della valvola non è una linea diritta; perciò i valori del rapporto E_p:I_p non sono gli stessi in tutti i punti della curva. Risulta quindi necessario conoscere la resistenza alla corrente alternata, ossia la **resistenza dinamica** che la valvola amplificatrice presenta.

Supponiamo di variare di poco la tensione di placca, cioè ΔE_p. Ciò determina una leggera variazione della corrente anodica, pari a ΔI_p.

Il rapporto $\Delta E_p : \Delta I_p$ rappresenta la resistenza dinamica di placca, o resistenza alla corrente alternata. L'equazione che determina questo rapporto, è pertanto la seguente:

$$R_p = \frac{\Delta E_p}{\Delta I_p} \quad \text{(essendo } E_g \text{ costante).}$$

Dalla teoria matematica delle curve, sappiamo che la pendenza di una curva è la tangente dell'angolo che essa forma con l'asse orizzontale. Alla **figura 9**, notiamo che R_p è l'inverso della tangente (ossia la cotangente) di tale angolo, vale a dire, è l'inverso della pendenza.

Nella famiglia di curve di figura 6, la pendenza delle curve è quasi la stessa in diversi punti e per diverse curve. Questo significa che la valvola ha la medesima resistenza dinamica di placca su un'ampia gamma di condizioni di lavoro. Tale resistenza dinamica di placca è enunciata in tutte le tabelle che elencano le caratteristiche delle valvole. Ad esempio, la resistenza c.a. di placca di un triodo tipico, come la 6SN7, ammonta a circa 7.000 ohm. La sua resistenza statica è leggermente inferiore. La resistenza statica di un diodo invece, è di circa 500 ohm nella fase conduttiva; la sua resistenza dinamica di placca è pressochè eguale. Il valore di R_p in ohm, come pure il fattore *mu* di qualsiasi valvola, possono essere ricavati dalle curve caratteristiche, come vedremo in seguito.

Conduttanza mutua

In aggiunta ai fattori R_p e *mu* di una valvola, esiste una terza caratteristica detta **conduttanza mutua** o **transconduttanza**; viene rappresentata dalla abbreviazione g_m. Essa è definita come rapporto tra una piccola variazione della corrente anodica e la piccola variazione della tensione di griglia necessaria per provocarla, mentre la tensione di placca viene mantenuta costante. In altre parole, essa è una misura di come la griglia controlli la corrente di placca. L'equazione per il calcolo della conduttanza mutua è:

$$g_m = \frac{\Delta I_p}{\Delta E_g} \quad \text{(essendo } E_p \text{ costante).}$$

Analogamente a *mu* ed a R_p, il valore di g_m può essere ricavato dalle curve caratteristiche. Essendo g_m un rapporto di corrente alla tensione, è praticamente l'inverso del concetto di ohm; per questo motivo, la sua unità di misura è il **mho** (la parola ohm a rovescio).

Il valore g_m è di norma talmente piccolo che viene enunciato in **micromho**, ossia in *milionesimi di mho.*

Le tre caratteristiche di una valvola sinora considerate sono in relazione tra loro, e dipendono essenzialmente dalla struttura della valvola. Poichè:

$$g_m = \frac{\Delta I_p}{\Delta E_g}$$

e poichè:

$$R_p = \frac{\Delta E_p}{\Delta I_p}$$

si ha che:

$$\mu = g_m \times R_p$$

Quindi, conoscendo due delle caratteristiche, è facilmente possibile calcolare la terza. Così:

$$g_m = \frac{\mu}{R_p} \quad \text{ed} \quad R_p = \frac{\mu}{g_m}$$

Esiste un secondo metodo per indicare la conduttanza mutua, secondo il quale si considera il fatto che tale caratteristica esprime le variazioni della corrente anodica

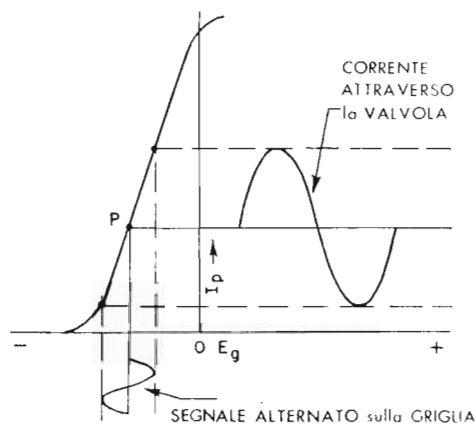



Fig. 8 — Curva caratteristica E_g-I_p di un triodo. Essa dimostra come la « pendenza » determini l'ammontare dell'amplificazione. In basso è rappresentato il segnale di ingresso, e a destra quello di uscita (amplificato).

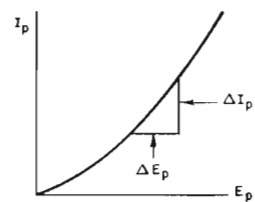



Fig. 9 — Diagramma illustrante il motivo per cui la resistenza di placca (R_p) è l'inverso della tangente dell'angolo che la curva forma con l'asse orizzontale.

in milliampère, in funzione delle variazioni della tensione di griglia in volt. Poichè, infatti, una variazione di V volt della tensione di griglia provoca una variazione di mA milliampère nella corrente di placca, si usa dire che la conduttanza mutua di una valvola è espressa in mA/V (leggi milliampère-volt).

Mentre le tabelle che illustrano le caratteristiche delle valvole americane riportano generalmente la conduttanza mutua in micromho (μmho), quelle che illustrano le caratteristiche delle valvole europee, riportano detto valore preferibilmente in mA/V.

È inoltre da notare che la differenza consiste soltanto nella preferenza di un sistema piuttosto che l'altro, in quanto il valore indicato è assolutamente il medesimo. Infatti, ad esempio,

2.500 μmho corrispondono a 2,5 mA/V.

3.000 μmho corrispondono a 3 mA/V, e così via.

USO delle CURVE CARATTERISTICHE

La **figura 10** illustra una famiglia di curve E_p-I_p, facenti parte delle caratteristiche di un noto tipo di triodo amplificatore, il tipo 6J5. Si noti che i quattro punti contrassegnati A, B, C e D si trovano sui tratti rettilinei delle curve. Ci serviremo di queste curve per ricavare il fattore di amplificazione, la resistenza di placca e la conduttanza mutua, nel modo seguente:

Il *fattore di amplificazione* è dato da:

$$\mu = \frac{\Delta E_p}{\Delta E_g} \quad \text{per } I_p \text{ costante} = 7 \text{ mA}$$

Il punto A corrisponde a . . . . . . 155 volt
Il punto C corrisponde a . . . . . . 195 volt

La variazione di E_p ammonta a . . . . 40 volt

Il punto A corrisponde a . . . . . . —4 volt
Il punto C corrisponde a . . . . . . —6 volt

La variazione di E_g ammonta a . . . . 2 volt

$$\mu = \frac{40 \ V}{2 \ V} = 20$$

La *resistenza di placca* è data da:

$$R_p = \frac{\Delta E_p}{\Delta I_p} \quad \text{per } E_g \text{ costante} = -4 \text{ V}$$

Il punto A corrisponde a . . . . . . 155 volt
Il punto B corrisponde a . . . . . . 185 volt

La variazione di E_p ammonta a . . . 30 volt

Il punto A corrisponde a . . . . . . 7 milliampère
Il punto B corrisponde a . . . . . . 11 milliampère

La variazione di I_p ammonta a . . . 4 milliampère

$$R_p = \frac{30 \ V}{4 \ mA} = 7.500 \text{ ohm}$$

$$g_m = \frac{\Delta I_p}{\Delta E_g} \quad \text{per } E_p \text{ costante} = 155 \text{ volt}$$

La *transconduttanza* è data da:

Il punto A corrisponde a . . . . . . 7 milliampère
Il punto D corrisponde a . . . . . . 12,5 milliampère

La variazione di I_p ammonta a . . . 5,5 milliampère

Il punto A corrisponde a . . . . . . —4 volt
Il punto D corrisponde a . . . . . . —2 volt

La variazione di E_g ammonta a . . . —2 volt
g———0,00275 mho, ossia 2.750 mho, pari a 2,75 m

$$g_m = \frac{5{,}5 \ mA}{2 \ V} = 0{,}00275 \ mho,$$

ossia 2.750 μmho, pari a 2,75 mA/V.

Effetti della resistenza di carico

Fino ad ora abbiamo considerato il funzionamento della valvola, unicamente con riferimento alle reazioni interne. Non abbiamo ancora esaminato come si possa ottenere da essa una tensione utile di uscita. Uno dei metodi più comuni per raggiungere detto scopo consiste nel-

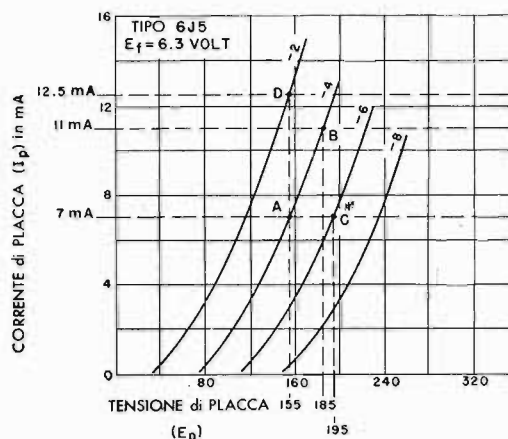



Fig. 10 — Curva tipica E_p-I_p di un triodo tipo 6J5.

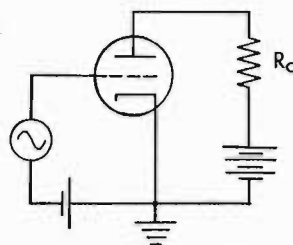



Fig. 11 A — Circuito tipico di un triodo con griglia polarizzata e con resistenza di carico anodico. Alla tensione di griglia è sovrapposto un segnale alternato.

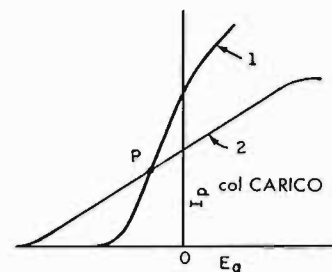



Fig. 11 B — Variazione della curva E_g-I_p prodotta dalla resistenza di carico nel circuito anodico. La pendenza diminuisce.

l'inserire una resistenza di carico nel circuito di placca, qual'è R_c nello schema di **figura 11 A**; ai capi di tale resistenza si verifica una caduta di tensione proporzionale alle variazioni della corrente anodica.

In assenza di tale resistenza, ossia, di carico, qualsiasi tensione di segnale applicata alla griglia determina una variazione della corrente anodica che si espleta lungo la curva E_g-I_p, contrassegnata con numero « 1 » nella figura 11 **B**.

L'effetto della resistenza di carico consiste nel costringere la corrente di placca a seguire invece la curva contrassegnata con numero « 2 », la quale ha una pendenza inferiore di un ammontare proporzionale al valore della resistenza stessa.

La curva « 2 » viene denominata **caratteristica dinamica**, in quanto permette di vedere il comportamento della valvola nelle effettive condizioni di lavoro, ossia quando nel suo circuito di placca si trova un'impedenza di carico, e viene applicata una tensione alternata alla griglia.

Il motivo per il quale la corrente di placca segue la caratteristica dinamica, risiede nel fatto che, con un carico nel circuito di placca, la tensione di quest'ultima differisce dalla tensione anodica di alimentazione di una quantità pari alla caduta di tensione che si ha ai capi della resistenza. Si noti che la caratteristica dinamica è più lineare delle caratteristiche statiche della valvola.

La tensione di placca nel punto di funzionamento *P*, equivale alla tensione di alimentazione anodica, meno la caduta di tensione presente ai capi della resistenza di carico R_c. Un aumento della tensione di griglia (nel senso positivo, quindi, anche una diminuzione della tensione negativa), provoca un aumento della corrente anodica e, di conseguenza, un aumento della tensione ai capi di R_c. Quest'ultimo aumento, a sua volta, riduce la tensione disponibile alla placca, evitando così che la corrente anodica aumenti nel modo indicato dalla curva « 1 ». Al di sotto di *P*, la tensione di placca aumenta quando la corrente diminuisce. Per questo motivo, la curva della corrente di placca col carico, segue l'andamento della curva « 2 », invece di quello contrassegnato dalla curva « 1 ». La pendenza della nuova curva, d'altra parte, dimostra che l'amplificazione effettiva da parte della valvola è inferiore a quella indicata dal fattore di amplificazione, *mu*, della valvola stessa.

Rette di carico

Molti problemi di calcolo relativi alle valvole termoioniche possono essere risolti mediante i grafici, con l'aiuto delle curve E_p-I_p e di una **retta di carico** che può essere tracciata per un dato valore del carico, ed in riferimento ad una data tensione anodica. Nel caso che il carico sia esclusivamente resistivo (ossia costituito da sola resistenza ohmica), per determinare la tensione di uscita allorchè sono noti il tipo di valvola, la resistenza di carico, la tensione di polarizzazione, la tensione anodica e l'ampiezza del segnale di ingresso, è possibile impiegare una retta di carico cosiddetta « statica ».

Applicando la legge di Kirchhoff al circuito di **figura 12 A** si può stabilire la seguente espressione:

$$E_p + I_p R_c = E_b$$

Se la tensione di alimentazione E_b ammonta a 350 volt, e la resistenza di carico R_c è di 25.000 ohm, l'espressione diventa:

$$E_p + I_p \ (25.000) = 350$$

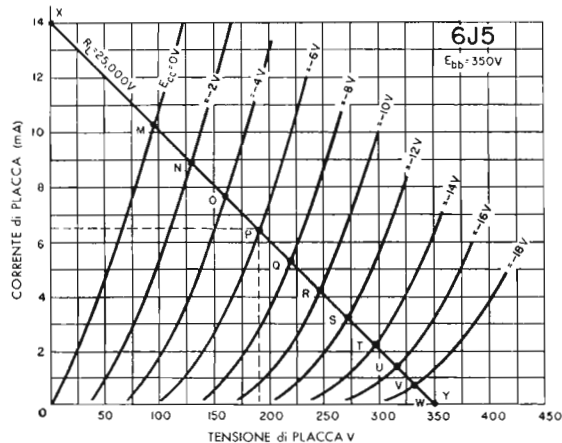
Come si nota, in essa figurano due valori incogniti (E_p ed I_p), per cui può essere rappresentata da una linea retta. Dal momento che una retta può essere individuata da due soli punti, si individuano sul grafico quelli corrispondenti a $E_p = 0$ e ad $I_p = 0$, come illustrato in figura 12.

$$\text{Quando } E_p = 0, \text{ si ha che } I_p = \frac{350}{25.000} = 14 \text{ mA}$$

quando $I_p = 0$, si ha che $E_p = 350$ volt.

Una volta individuati questi due punti sul grafico illustrante una famiglia di curve E_p-I_p di una valvola (ad esempio la 6J5), essi vengono uniti con una linea retta. Questa è la retta di carico per la corrente continua (come illustrato in figura 12) relativa ad una resistenza di carico di 25.000 ohm e ad una tensione di alimentazione anodica di 350 volt.

Il **punto di funzionamento** di una valvola determina il valore della tensione di placca, della tensione di polarizzazione di griglia, nonchè quello della corrente anodica, in condizioni statiche (ossia in assenza di variazioni dovute alla presenza di un segnale). La retta di carico è costituita da un insieme infinito di punti successivi che denotano una data tensione ed una data corrente di plac-

Fig. 12 — Tipica famiglia di curve di un triodo del tipo 6J5. Nota la tensione di alimentazione ed il valore della resistenza di carico, si può tracciare la retta di carico. Essa consente di determinare la tensione e la corrente effettive di placca, nonchè il fattore di amplificazione, in funzione delle varie tensioni di polarizzazione della griglia pilota.

ca. Il punto di funzionamento della valvola si trova su questa retta. Per individuarlo, è necessario che essa venga intersecata da una seconda retta che esprima la tensione di polarizzazione.

Supponiamo che nel circuito considerato, essa ammonti a —6 volt. Il punto di intersezione della curva corrispondente a —6 volt con la retta di carico è il punto di lavoro che si desiderava individuare. In corrispondenza di questo punto (P), E_p = circa 180 volt, I_p = 6,5 mA, ed E_c = —6 volt.

Se il valore della resistenza di carico fosse di 50.000 ohm, e la tensione di alimentazione fosse invece di 400 volt, la retta di carico sarebbe ovviamente un'altra.

Il lettore potrà — volendolo — tracciarla sul medesimo grafico di figura 12 procedendo in modo analogo al precedente. Infatti,

$$\text{quando } E_p = 0, \text{ si ha che } I_p = \frac{400}{50.000} = 8 \text{ mA}$$

e quando I_p = 0, si ha che E_p = 400 volt.

Una volta tracciata la retta che unisce questi due punti, si può notare che con una polarizzazione di griglia pari ancora a —6 volt, la tensione di placca E_p ammonta a circa 170 volt, e la corrente di placca I_p a circa 4,2 milliampère.

Nel primo caso considerato, se la polarizzazione di griglia fosse portata a —8 volt, il punto di lavoro coinciderebbe col punto Q, in corrispondenza del quale E_p = circa 220 volt, ed I_p = 5,2 mA. Si noti che — in ogni caso — il punto di lavoro resta sulla retta di carico.

Supponiamo ora di applicare alla griglia un segnale costituito da una tensione alternata sinusoidale che presenti una differenza di potenziale di 4 volt tra picco e picco. Se ci riferiamo sempre al primo caso considerato, il punto P, corrispondente ad una polarizzazione di —6 volt è quello presente sulla retta di carico. In tali condizioni, la tensione presente sulla griglia varia da (—6)+ +(—2) = —8 volt a (—6)+(+2) = —4 volt.

Negli istanti in cui la tensione di polarizzazione diventa —4 volt (ossia durante le semionde positive del segnale), il punto di funzionamento si sposta nel punto 0, al quale corrisponde E_p = circa 160 volt, mentre negli istanti in cui la medesima tensione diventa —8 volt, il punto di funzionamento è Q, al quale corrisponde E_p=circa 220 volt.

Durante un'intera oscillazione della tensione di griglia (dovuta alla sovrapposizione del segnale alla tensione di polarizzazione), la tensione di placca segue l'andamento del segnale stesso, ma con uno sfasamento di 180°. In tali condizioni però, mentre la variazione della tensione di griglia è al massimo di 4 volt, la tensione di placca varia da 160 a 220, con una differenza di ben 60 volt tra picco e picco.

Ciò significa che il rapporto tra le variazioni della tensione di placca, e le variazioni della tensione di griglia ammonta a 60:4=15. Tale è il guadagno, ossia l'amplificazione, che può essere ottenuta mediante una valvola 6J5 funzionante in queste condizioni, ossia con una tensione di alimentazione pari a E_b = 350 volt, una resistenza di carico pari a 25.000 ohm, ed una polarizzazione fissa di griglia pari a —6 volt.

Questo rapporto, detto **coefficiente di amplificazione**, può variare modificando le condizioni di lavoro, ed il lettore potrà trovarne facilmente altri, ripetendo il calcolo nei confronti di altri valori della resistenza di carico e della tensione di polarizzazione.

Relazioni di fase del segnale in una valvola

La **figura 13 A** illustra il circuito di un triodo usato come amplificatore. La griglia della valvola è polarizzata mediante una piccola batteria, alla cui tensione viene a sommarsi algebricamente quella di segnale, a corrente alternata.

La tensione d'uscita, viene prelevata dal punto *X* ed è riferita a massa, vale a dire che tra entrata (griglia) e uscita (placca) vi è in comune il punto di massa.

Quando la tensione alternata del segnale entrante è tale da rendere più positiva la griglia, la corrente di placca aumenta; ciò determina un aumento della caduta *IR* ai capi della resistenza di carico. La tensione istantanea nel punto *X* diminuisce rispetto al suo valore precedente rispetto a massa. Così la tensione istantanea alla placca della valvola diventa meno positiva. Quando invece il segnale alternato applicato alla griglia si somma alla sua

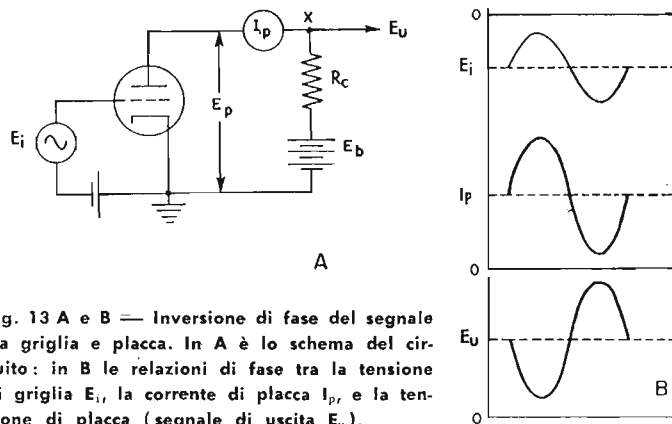



Fig. 13 A e B — Inversione di fase del segnale tra griglia e placca. In A è lo schema del circuito: in B le relazioni di fase tra la tensione di griglia E_i, la corrente di placca I_p, e la tensione di placca (segnale di uscita E_u).

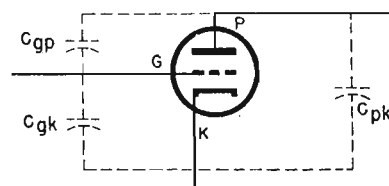



Fig. 14 — Schema rappresentativo delle capacità interelettrodiche. C_{gp} rappresenta la capacità tra griglia e placca, C_{gk} tra griglia e catodo, e C_{pk} tra placca e catodo. Esse sono dovute al fatto che gli elettrodi, isolati tra loro dal vuoto, formano tra ogni paio un condensatore.

tensione base in modo da aumentarne il potenziale negativo, avviene il contrario, ossia la corrente anodica diminuisce. In conseguenza di ciò, diminuisce la caduta di tensione *IR* ai capi della resistenza di carico, R_c, per cui la tensione istantanea nel punto *X* aumenta rispetto al suo valore precedente, assumendo un nuovo valore pari alla differenza tra la tensione di alimentazione e la caduta attraverso R_c.

Dal momento che, come abbiamo visto, un aumento della tensione di griglia determina una diminuzione della tensione di placca nel punto *X*, e viceversa, ne consegue che la tensione di uscita è sfasata di 180° rispetto a quella di entrata.

Le variazioni della tensione di griglia, della corrente di placca e della tensione di placca, sono illustrate alla figura 13 **B**. In essa, E_b rappresenta la tensione di alimentazione anodica, ed E_p la tensione di placca rispetto a massa, ossia la tensione di uscita.

L'inversione di polarità tra le tensioni di griglia e quelle di placca, può essere chiarita, considerando l'applicazione della legge di Kirchhoff alle resistenze in serie. La somma delle cadute *IR* nell'intero circuito deve equivalere, in ogni istante, alla tensione di alimentazione E_b. Pertanto, se la caduta di tensione ai capi di R_c aumenta, il valore di E_p disponibile per la placca della valvola deve essere necessariamente inferiore.

Le capacità interelettrodiche

Come si è visto in precedenza, tra due corpi metallici separati da un dielettrico, esiste una « capacità ». Il valore di tale capacità, come ben sappiamo, dipende dalla superficie dei corpi metallici, dalla distanza tra di essi, nonchè dalla natura del dielettrico.

Gli elettrodi interni di una valvola sono di metallo, e sono separati da uno strato di aria ad alto grado di rarefazione (in quanto, internamente al bulbo, è stato praticato il vuoto che, per quanto spinto sia, non può certamente essere assoluto); essi costituiscono quindi un condensatore multiplo, le cui capacità, dette **capacità interelettrodiche**, sono illustrate simbolicamente alla **figura 14** nel caso del triodo.

Le capacità esistenti in un triodo sono quelle tra griglia e catodo, tra griglia e placca e tra catodo e placca. Pur essendo di valore molto basso, tali capacità possono tuttavia permettere il passaggio di piccole quantità di segnale a corrente alternata tra un elettrodo e l'altro; specialmente tra griglia e placca, il passaggio può, a volte, causare gravi inconvenienti. Se la valvola funziona con frequenze molto elevate, la capacità tra griglia e placca invia dalla seconda alla prima un segnale indesiderato che è in fase con quello presente sulla griglia; esso può provocare un fenomeno oscillatorio parassita (che vedremo meglio in seguito) che però può essere neutralizzato inviando dal circuito di placca al circuito di griglia un secondo segnale, di eguale ampiezza, ma in opposizione di fase rispetto a quello prodottosi. Questo segnale sfasato viene prelevato dal circuito di placca in modo che si trovi a 180° fuori fase rispetto a quello interno al triodo, e viene inviato al circuito di griglia attraverso un condensatore esterno detto *condensatore di neutralizzazione*. Quest'ultimo, è costituito, di solito, da un piccolo compensatore, regolabile al fine di fargli assumere il valore di capacità necessario per la soppressione del segnale interno di reazione.

Poichè nei triodi la capacità tra griglia e placca è relativamente elevata, l'impiego di questo tipo di valvola come amplificatore di frequenze alte è assai limitato.

Vediamo ora per quale motivo l'amplificazione da parte di un triodo è limitata dal segnale presente sulla placca. Supponiamo di inviare alla griglia un segnale positivo; esso provoca un aumento della corrente anodica.

Tale corrente determina la presenza, come abbiamo visto, di un segnale negativo sulla placca. Tuttavia, un segnale negativo alla placca tende a diminuire la corrente anodica, per cui, maggiore è il coefficiente di amplificazione, più la placca contrasta l'azione della griglia. Quando la griglia tende a provocare un aumento della corrente anodica, la placca tende a farla diminuire e viceversa. Pertanto, l'influenza della placca sulla griglia limita l'amplificazione del triodo. Tale azione di opposizione della placca, come pure l'effetto della capacità interelettrodica, viene notevolmente ridotto allorchè la placca è separata dalla griglia mediante uno **schermo**, come avviene in particolari tipi di valvole che vengono appunto definite schermate (tetrodi, pentodi), e che saranno oggetto di una apposita lezione nel fascicolo prossimo.

IL PROVAVALVOLE

Il compito del provavalvole, consiste come esplicitamente dice il suo termine, nel misurare le caratteristiche di funzionamento di una valvola termoionica e nell'indicare con sufficiente approssimazione il suo rendimento.

Le valvole termoioniche sono classificate, a seconda del loro funzionamento e del numero di elettrodi attivi che contengono, in diodi, triodi, tetrodi, pentodi, esodi, eptodi, ottodi, valvole multiple, valvole a gas ed infine valvole speciali. Esistono tra queste ultime, tipi il cui uso è riservato ad apparecchiature che esulano del campo radiotecnico vero e proprio; tali valvole non possono essere controllate con un provavalvole di tipo commerciale.

I provavalvole generalmente controllano la valvola nel suo valore di conduttanza mutua, accertano la presenza di eventuali cortocircuiti, la presenza di gas, e provano, a volte, l'emissione elettronica.

Si incontrano spesso valvole multiple, ossia tipi diversi di valvole riunitî in un unico bulbo. Ogni complesso di elettrodi ha, in tal caso, le sue proprie connessioni col circuito esterno, sia a mezzo di piedini che, a volte, di morsetti o clips. Esempi correnti di valvole multiple sono i doppi-diodi (nello stesso bulbo vi sono due placche e due catodi) ed i doppi-diodo-triodo. Ciascuna unità di una valvola multipla funziona nella stessa identica maniera in cui funzionerebbe se fosse contenuta in un proprio bulbo. Le valvole multiple richiedono prove separate per ciascuna unità.

Dobbiamo accennare anche alla esistenza di valvole cosiddette a gas. Possono essere diodi, triodi, o a più elettrodi: in esse la presenza di un gas mantiene il flusso elettronico tra catodo e placca ad un minimo per tutti i valori di differenza di potenziale, sino ad un certo valore noto come potenziale di ionizzazione. Quando questo valore viene raggiunto, il gas si ionizza, e si divide in elettroni ed in ioni positivi: il flusso elettronico nella valvola aumenta rapidamente ad un valore molto elevato.

In generale, la base di una valvola termoionica rientra, per ciò che riguarda la sua struttura, in un tipo standardizzato: la **figura 1**, ne illustra alcuni. Per far sì che ogni piedino della base venga inserito quando si pone la valvola nell'apparecchiatura, in corrispondenza dell'apposito contatto e non altrimenti, esistono vari sistemi tra i quali i seguenti sono i principali:

1) Alcuni piedini vengono realizzati con un diametro maggiore degli altri. È evidente che, in tal modo, la valvola può essere inserita nel suo supporto in un'unica posizione.

2) I piedini possono essere distanziati tra loro con distanze non eguali. Le distanze relative corrispondono a quelle presenti tra i fori del portavalvola in cui i piedini devono essere inseriti. Anche questo sistema impedisce che la valvola venga innestata in maniera errata.

3) Lo zoccolo della valvola può essere munito di una speciale prominenza sagomata che serve da guida e si adatta ad un foro di forma corrispondente praticato nel portavalvola. La valvola può entrare nel supporto solo quando la guida si trova in corrispondenza della sede dell'alloggiamento relativo.

4) Lo zoccolo della valvola è dotato di un dispositivo che ne determina il fissaggio meccanico nel supporto allorchè la valvola è inserita nella posizione appropriata. Tale dispositivo consiste in una fessura circolare posta intorno all'estremità inferiore della guida, e di una molla a scatto che si inserisce in tale fessura. Le valvole provviste di questo dispositivo sono del tipo detto a fissaggio automatico.

I DIFETTI più COMUNI

La durata di una valvola è in stretta relazione col tipo di circuito in cui essa è impiegata, con la temperatura, e col modo in cui l'apparecchio viene trattato. Se vengono rispettate le caratteristiche di funzionamento, e se la valvola non viene tenuta in funzione per periodi eccessivamente lunghi nelle condizioni di lavoro più spinto, la durata si aggira intorno alle 2.000 ore o più, prima che il filamento si interrompa. Se detta valvola viene utilizzata in un circuito nel quale circolino correnti relativamente deboli, la durata sarà maggiore che non se il funzionamento avviene con correnti elevate. Le valvole termoioniche che funzionano con temperature ambiente molto elevate oppure in località particolarmente umide, nei casi cioè in cui intervengono gravi fenomeni di ossidazione dei contatti metallici, hanno una durata inferiore in confronto a quella che si ottiene in zone temperate o fredde. Allorchè le valvole vengono impiegate su mezzi mobili, gli urti e le vibrazioni possono deteriorare i contatti interni causando rotture e cortocircuiti.

Altri probabili difetti delle valvole possono essere l'eventuale perdita di isolamento tra il catodo ed il filamento, una eccessiva presenza di sostanze gassose all'interno del tubo di vetro per i tipi a vuoto, e un'emissione di elettroni scarsa o comunue non uniforme da parte del catodo. Le valvole difettose possono denotare mancanza di

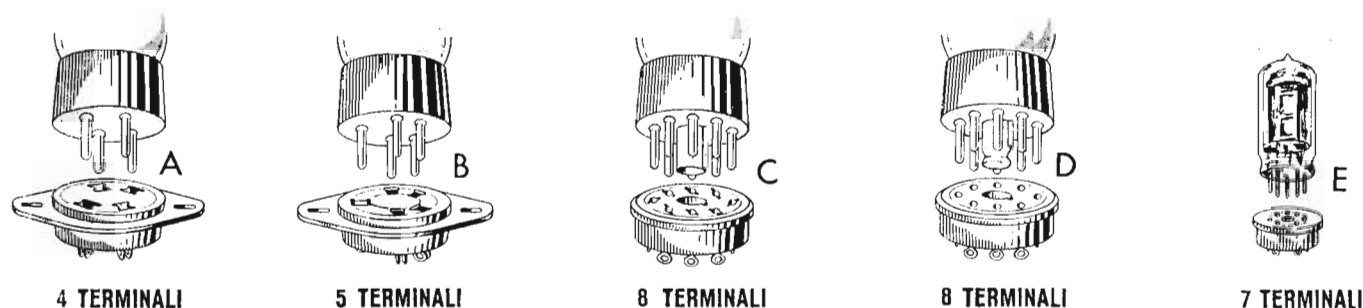



Fig. 1 — Vari tipi di zoccoli di valvole, raffigurati unitamente ai rispettivi portavalvole. In A il classico tipo a 4 piedini, due dei quali hanno un diametro maggiore. In B il tipo a 5 piedini disposti a pentagono irregolare. In C il tipo detto « octal », a 8 piedini. In D un tipo analogo a fissaggio automatico, ed in E il tipo « miniatura », i cui contatti escono dal bulbo.

incandescenza del filamento, corrente di placca insufficiente o eccessiva, luminescenza anormale dovuta alla presenza di gas, oppure presenza di scintillio tra gli elettrodi interni.

SISTEMI di PROVA

I provavalvole possono effettuare in genere, quattro distinti tipi di prove: la prova dell'emissione, la misura della conduttanza mutua, l'accertamento di eventuali cortocircuiti, ed il controllo della quantità di gas presente all'interno del bulbo.

La prova dell'emissione permette di misurare la quantità di elettroni emessi dal catodo in condizioni normali di funzionamento. Se l'elemento riscaldante, cioè il filamento, è interrotto, l'emissione non ha luogo. Se il rivestimento del catodo o il catodo stesso è esaurito o quasi, l'emissione può essere inferiore a quella normale, irregolare, o addirittura nulla.

La misura della conduttanza mutua, G_m, di una valvola, permette di valutare la pendenza della curva caratteristica allorchè la valvola viene fatta funzionare applicando agli elettrodi le normali tensioni di lavoro. In questo caso, la conduttanza mutua viene misurata e confrontata con i valori enunciati dal fabbricante, ed è possibile ottenere una indicazione effettiva del rendimento. La maggior parte dei provavalvole a conduttanza mutua sono muniti di uno strumento la cui scala è suddivisa in tre zone corrispondenti allo stato di: « efficiente », « mediocre » o « inefficiente ».

È possibile accertare **la presenza di cortocircuiti** tra gli elettrodi collegando uno di essi ad una sorgente di tensione, attraverso una lampada al neon, e tutti gli altri o qualcuno di essi all'altro polo della medesima sorgente. Se il primo elettrodo è in contatto diretto con uno degli altri, la lampada al neon si accende denunciando il cortocircuito: mediante un apposito commutatore, è possibile realizzare tutte le combinazioni che controllano la eventuale presenza di cortocircuito tra ognuno degli elettrodi e gli altri.

Per controllare la eventuale presenza di **una quantità eccessiva di gas,** si applica ai vari elettrodi la tensione di lavoro adatta al normale funzionamento, dopo di che si prende nota del valore della corrente di placca. Dopo, mediante un commutatore, si inserisce una resistenza di polarizzazione nel circuito della griglia di controllo. Se vi è presenza di gas la resistenza inclusa determina un potenziale di griglia più positivo: si ha una apprezzabile corrente di griglia e la corrente di placca subisce un notevole aumento. Se le condizioni del vuoto sono normali, l'introduzione della resistenza non apporta varazioni di rilievo.

PROVE TIPICHE sulle VALVOLE

Metodo della sostituzione

Allorchè si sospetta che una valvola sia difettosa, la sostituzione di una valvola buona al posto della prima costituisce il metodo semplice per determinare se il sospetto è fondato o meno. Ad esempio, se una valvola amplificatrice di Bassa Frequenza di un ricevitore ha un basso rendimento, le onde sonore provenienti dall'altoparlante o dalla cuffia sono proporzionalmente deboli; allorchè detta valvola viene sostituita con un'altra di sicura efficienza, la potenza sonora aumenta istantaneamente denunciando le cattive condizioni della prima. Tale valvola può, a volte, essere utilizzata per altri circuiti per i quali il funzionamento può dimostrarsi ancora soddisfacente, tuttavia, ciò non è molto consigliabile.

Se in un apparecchio esiste più di una valvola difettosa, la sostituzione di una sola di esse non apporta, in certi casi, variazione tali da assodarne il difetto eventuale; d'altra parte, se vengono sostituite tutte le valvole, non esiste alcun mezzo per individuare quelle difettose. In tal caso il provavalvole rivela la sua piena utilità e si dimostra particolarmente utile, permettendo un notevole risparmio di tempo.

Prova dell'emissione

Se l'emissione elettronica del catodo è scarsa, gli elettroni attirati dalla placca sono in numero ridotto, per cui la corrente anodica è bassa, e la valvola non può amplificare normalmente. Per misurare l'intensità di detta emissione, la valvola viene collegata come un diodo, ossia come un rettificatore di una sola semi-onda (vedi **figura 2**). Il primario del trasformatore viene collegato alla rete di alimentazione. La placca della valvola, unita mediante collegamenti esterni a tutte le eventuali griglie,

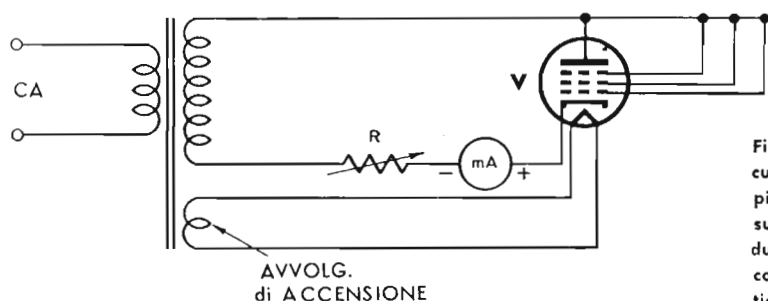
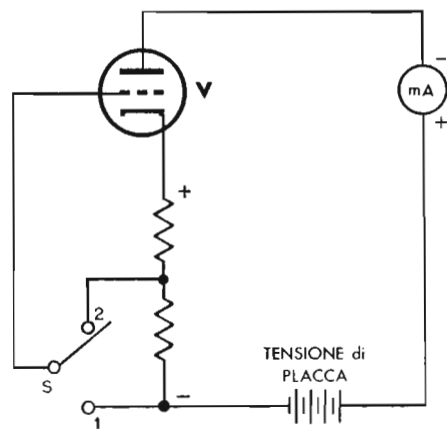



Fig. 2 — Sistema di collegamento degli elettrodi di una valvola a tre griglie, per la prova della sola emissione. Le griglie sono tutte connesse alla placca, e la valvola diventa un diodo.

Fig. 3 — Circuito di principio per la misura della conduttanza mutua col metodo statico. Mediante il commutatore S è possibile dare alla griglia due diverse tensioni.

viene collegata ad uno dei terminali del secondario ad alta tensione. In serie a questo circuito si trova un milliampèrometro (MA) ed una resistenza, *R*, e l'intero circuito si chiude sull'altro terminale del medesimo avvolgimento del trasformatore. La placca e le griglie hanno evidentemente il medesimo potenziale rispetto al catodo, e l'intera valvola funziona da rettificatrice di una semionda in quanto permette il passaggio della corrente solo durante il semiperiodo nel quale detti elettrodi hanno un potenziale positivo rispetto al catodo. La quantità di corrente che scorre nel circuito durante questo mezzo ciclo è un'indicazione dell'emissione catodica.

La corrente misurata dallo strumento in questo circuito è continua e pulsante. Quando si deve effettuare la prova di un diodo che normalmente funziona con correnti deboli, la tensione applicata deve essere contenuta entro i limiti massimi consentiti dal fabbricante. In questo caso la resistenza *R* deve essere regolata in modo tale da includere tutto il suo valore che ammonta a 5.000 ohm, in quanto una emissione elettronica anormale causata da una eccessiva tensione tra placca e catodo potrebbe danneggiare uno di tali elettrodi o entrambi.

La griglia di controllo delle valvole multigriglia è positiva rispetto al catodo durante il semiperiodo in cui la corrente scorre, e ciò determina una notevole emissione catodica, a meno che il valore di *R* sia sufficientemente alto per contenere l'intensità della corrente entro i limiti di sicurezza. Quanto sopra accade in quanto la griglia è molto più vicina al catodo che non la placca, la quale può essere polarizzata con tensioni molto elevate. D'altra parte, è opportuno considerare che la prova alla quale ci riferiamo non viene effettuata con le normali tensioni di lavoro in quanto si presuppone che, se il catodo è in grado di emettere una data quantità di elettroni con un basso potenziale positivo della griglia controllo, si può essere sicuri che detta emissione è sufficiente per il funzionamento della valvola in condizioni normali.

Come si vede dalla figura, il filamento viene alimentato da un secondario separato del medesimo trasformatore che fornisce la tensione di prova.

Prova della conduttanza mutua

La prova della conduttanza mutua consente il rilevare in modo più approfondito le condizioni di funzionamento delle valvole che non la prova precedentemente descritta.

La conduttanza mutua, detta a volte trasconduttanza griglia-placca, è — abbiamo testè visto alla precedente lezione — il rapporto tra le variazioni della corrente di placca e le variazioni della tensione di griglia, mantenendo costanti le tensioni degli altri elettrodi. La transconduttanza, come abbiamo allora accennato, viene misurata in *mho*; tuttavia, essendo le letture generalmente di valore molto basso, si preferisce usare una unità di misura pari ad un millionesimo di mho, e precisamente il *micromho*. L'equazione che esprime tale valore, ricordiamo, è la seguente:

$$G_m = \frac{\Delta\ I_p}{\Delta\ E_g}$$

nella quale G_m è la conduttanza mutua in micromho, $\Delta\ I_p$ è la variazione della corrente di placca in microampère, e $\Delta\ E_g$ è la variazione della tensione della griglia pilota in volt. La transconduttanza viene espressa anche in mA/V.

Quando la tensione di griglia subisce una variazione di un volt in senso positivo o negativo, l'ammontare della variazione della corrente anodica in microampère equivale all'ammontare della conduttanza mutua in micromho. Ad esempio, se una valvola usata in un circuito di amplificazione ha una conduttanza mutua di 1500 micromho, una variazione della sua tensione di griglia di 1 volt positivo o negativo aumenta, o diminuisce, rispettivamente la corrente di placca di 1500 microampère. La conduttanza mutua di un triodo varia col variare della tensione di placca, della corrente di placca e della polarizzazione di griglia. In un pentodo (valvola dotata di una griglia schermo) essa è meno sensibile alla variazione della tensione di placca, ma in compenso varia notevolmente col variare della tensione di schermo, della corrente di placca e della polarizzazione di griglia.

Per valutare il grado di efficienza di una valvola, viene confrontata la conduttanza mutua indicata dallo strumento, con quella specificata dal fabbricante. Per usare quest'ultimo valore come riferimento utile ed inconfutabile, è necessario applicare agli elettrodi le medesime tensioni di placca, di schermo e di griglia, applicate dal fabbricante per ricavare le caratteristiche.

Quando la conduttanza mutua è notevolmente inferiore a quella indicata, la valvola non può amplificare in ma-

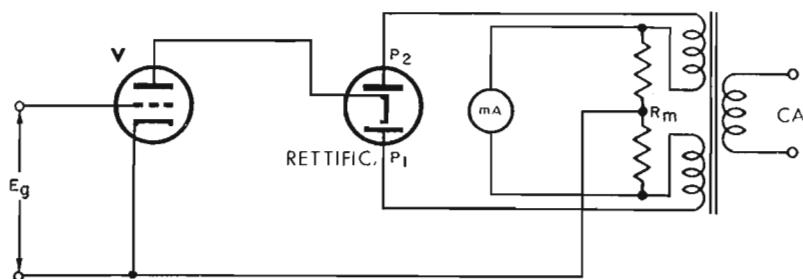



Fig. 4 — Schema di principio per la prova dinamica della conduttanza mutua. Alla griglia, oltre alla tensione di polarizzazione, viene applicato un segnale a corrente alternata.

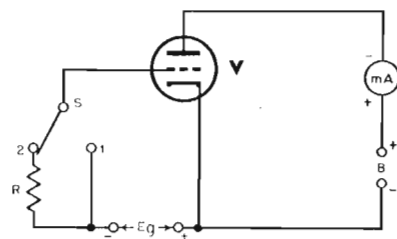



Fig. 5 — Circuito di principio per la verifica del vuoto. La resistenza R può essere o meno inserita nel circuito. Se il vuoto è scarso, essa determina un aumento di corrente anodica.

niera appropriata la tensione alternata applicata alla griglia pilota, per cui deve essere scartata.

Per valutare esattamente la conduttanza mutua, si fanno subire alla valvola due prove, e precisamente la *prova statica* e la *prova dinamica*. Nella prima, la tensione di polarizzazione di griglia viene variata, e, mediante un milliampèrometro si misura la variazione conseguente subita dalla corrente anodica, come è indicato alla **figura 3**. Con un commutatore, *S*, in posizione 1, alla griglia pilota viene applicato un potenziale negativo rispetto al catodo, e si ha un passaggio di corrente anodica. Con il commutatore posto in posizione 2, la polarizzazione negativa di griglia diminuisce per cui la corrente anodica aumenta.

Nell'uso di questo circuito per misurare il rendimento di diversi tipi di valvole termoioniche, è necessario che tanto la tensione di placca quanto quella di griglia siano regolabili, onde mettere in grado l'operatore di polarizzare gli elettrodi con le loro normali tensioni di lavoro. Dal momento che la mutua conduttanza di una valvola varia col variare della polarizzazione di griglia, lo scarto di quest'ultima rispetto al valore richiesto deve essere di piccola entità onde ottenere il valore effettivo relativo alla valvola sotto prova.

Il metodo dinamico per valutare la conduttanza mutua impiega un circuito mediante il quale è possibile applicare alla griglia pilota un segnale a corrente alternata in aggiunta alla tensione di polarizzazione a corrente continua (vedi **figura 4**). La valvola sotto prova funge da carico nei confronti del circuito rettificatore a due semionde. Il milliamperometro è collegato ai capi della resistenza R_m provvista di presa centrale, mentre il primario del trasformatore è collegato alla rete di alimentazione. Quando E_g, ossia la tensione di polarizzazione della valvola sotto prova, assume un valore determinato, il circuito funziona come un semplice rettificatore di una semionda. Quando la placca P_2 è positiva, si ha un passaggio di corrente attraverso la metà superiore della resistenza R_m, e l'indice dello strumento tende in una determinata direzione. Quando la tensione presente ai capi del secondario inverte la sua polarità ed è la placca P_1 ad essere positiva, il passaggio di corrente avviene nella metà inferiore della resistenza R_m, per cui l'indice dello strumento tende a spostarsi in direzione opposta. L'indice però non può seguire le variazioni di corrente che si verificano alla frequenza della tensione di rete, e resta perciò in posizione zero in quanto le forze che ne determinano lo spostamento sono eguali ed opposte.

Quando alla griglia pilota della valvola viene applicata una tensione alternata che si sovrappone alla tensione di polarizzazione, se la prima assume un valore positivo nel medesimo istante in cui P_2 è positiva, la corrente di placca aumenta, e la resistenza interna della valvola presente tra placca e catodo diminuisce. Dal momento che P_2 è positiva e quindi conduce, la corrente scorre nella metà superiore di R_m, ed aumenta la forza di deflessione dell'indice dello strumento. Nell'istante in cui la tensione alternata applicata alla griglia pilota assume un valore negativo, la griglia stessa acquista un potenziale maggiormente negativo, il che diminuisce la corrente anodica ed aumenta la resistenza interna. Ne consegue che la corrente che scorre nella metà inferiore di R_m diminuisce quando P_1 è positiva per cui la forza che determina la deviazione dell'indice dello strumento diminuisce a sua volta. Con correnti non bilanciate, in susseguentisi alternanze della tensione applicata alla griglia, l'indicazione dello strumento diventa proporzionale alla differenza tra le correnti, cioè allo sbilanciamento creato dalla tensione alternata applicata alla griglia, tensione che viene ricavata da un apposito avvolgimento secondario del trasformatore. Di conseguenza, lo strumento indica le variazioni della corrente anodica determinate dalle variazioni della tensione di griglia.

PROVE COMPLEMENTARI

Come abbiamo detto precedentemente, allo scopo di accertare oltre all'efficienza, eventuali difetti di una valvola termoionica, si eseguono particolari prove, come quella del vuoto, della rumorosità e dei cortocircuiti.

Quando all'interno del bulbo è presente una quantità di gas, gli elettroni emessi dal catodo urtano contro le molecole che costituiscono il gas stesso, costringendo uno o più elettroni ad uscirne. Ciò determina la presenza di ioni positivi nel gas, ossia esso si ionizza. Detti ioni, positivi, si spostano in direzione della griglia polarizzata con un potenziale negativo ed assorbono elettroni dal circuito di griglia.

Il circuito basilare usato per controllare la presenza di gas, è illustrato alla **figura 5**. Quando il commutatore *S* è in posizione 1, la corrente di placca viene letta dal mil-

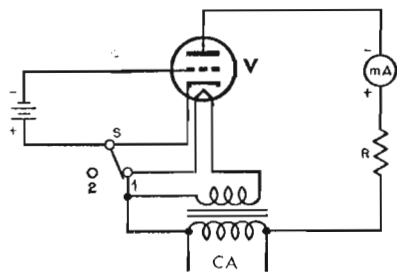



Fig. 6 — Circuito tipico per il controllo dell'isolamento tra catodo e filamento. Se esso è regolare, portando S in posizione 2 la corrente anodica deve cessare.

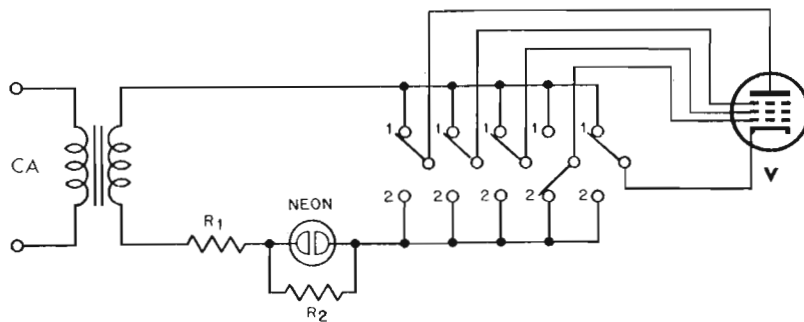



Fig. 7 — Circuito per la prova dei contatti indesiderati tra gli elettrodi. I commutatori consentono tutte le possibili combinazioni di contatto, e l'eventuale cortocircuito o dispersione è denunciata dall'accensione totale o parziale della lampada.

liamperometro collegato in serie al circuito anodico. Non appena detto commutatore viene portato in posizione 2, se all'interno della valvola si trovano molecole di gas, la corrente che si determina nel circuito di griglia causa una caduta di tensione ai capi della resistenza *R*, il che, a sua volta, provoca un aumento della corrente anodica. Se detto aumento è di piccola entità, la valvola può essere considerata normale, mentre se è di notevole entità indica un'eccessiva presenza di gas, per cui la valvola deve essere scartata.

La eventuale rumorosità di un ricevitore o di un amplificatore, può essere causata da contatti incerti tra gli elettrodi di una valvola ed i relativi circuiti, da perdita di isolamento tra catodo e filamento, o da una emissione elettronica non uniforme. Nel primo caso la percussione della valvola durante il funzionamento o durante la prova, provoca variazioni nelle distanze interelettrodiche, per cui varia in corrispondenza l'intensità dell'emissione. Questo fenomeno prende il nome di *microfonicità,* e, ripetiamo, è facilmente constatabile mediante una leggera percussione sul bulbo.

Se l'isolamento tra il catodo ed il filamento è imperfetto, può essere constatato mediante il circuito illustrato nella **figura 6**. Quando il commutatore *S* è nella sua posizione iniziale 1, lo strumento viene percorso da una corrente continua pulsante, come pure la resistenza limitatrice della corrente anodica, *R*. Quando il commutatore viene portato in posizione 2, detta corrente deve cessare completamente in quanto il circuito catodo-placca viene interrotto; se, nonostante lo spostamento del commutatore, si ha una certa indicazione da parte dello strumento, è segno che l'isolamento tra il catodo ed il filamento non è perfetto, per cui il circuito, anzichè aperto, resta parzialmente o totalmente chiuso.

Gli eventuali cortocircuiti tra gli elettrodi di una valvola possono essere causa di una corrente anodica eccessiva, di rumorosità, o di funzionamento intermittente. La **figura 7** illustra un circuito tipico atto a rivelare tale inconveniente.

Quando il commutatore si trova in posizione 2, la griglia pilota è collegata al terminale del secondario del trasformatore in serie al circuito dellà lampada al neon. Tutti gli altri elettrodi della valvola in esame vengono collegati, attraverso vari commutatori, al terminale opposto del secondario. Se la griglia pilota è in contatto con uno qualsiasi degli altri elettrodi, il circuito del secondario del trasformatore si chiude attraverso tale cortocircuito, per cui entrambi gli elettrodi della lampada danno una certa luminosità. Se invece, la griglia pilota non ha cortocircuiti, un solo elettrodo della lampada al neon denota l'incandescenza, e ciò avviene soltanto durante quella metà di un periodo del segnale di ingresso, durante la quale la griglia è positiva rispetto al catodo. Tutti gli altri elettrodi possono subire singolarmente il controllo del cortocircuito in modo analogo. L'elemento o elettrodo sotto prova, viene collegato ad un lato del secondario, mentre tutti gli altri vengono collegati al lato opposto.

La resistenza R_1 limita la corrente che percorre la lampada al neon, al valore che essa può sopportare; la resistenza R_2 costituisce un secondo percorso per qualsiasi corrente alternata di debole entità esistente nel circuito a causa della capacità residua presente tra i collegamenti degli altri componenti dello strumento. Si evita così che la lampada al neon si illumini a causa delle correnti residue o disperse.

Capita, a volte, che due elettrodi della valvola non siano in contatto tra loro quando la valvola è spenta, mentre entrano in cortocircuito a causa della dilatazione che si verifica allorchè la valvola viene accesa. Per questo motivo è opportuno permettere sempre alla valvola sotto prova di raggiungere la sua temperatura normale di funzionamento, prima di eseguire il controllo dei cortocircuiti. Oltre a ciò, è buona norma colpire leggermente e ripetutamente la valvola durante la prova, in quanto alcuni elettrodi possono avere un collegamento incerto sia meccanico che elettrico, all'interno del bulbo, ed avere quindi tendenza a toccarsi tra loro o ad interrompere il loro circuito a causa di vibrazioni meccaniche.

Il circuito di figura 7 può servire anche per il controllo della rumorosità collegando una cuffia o un altoparlante in serie ad un condensatore da 0,1 μF ai capi della lampada al neon. In questo caso, un eventuale cortocircuito intermittente, che si verifichi troppo rapidamente per permettere alla lampada di illuminarsi, causa un rumore o un crepitio intermittente nel riproduttore sonoro, il che denucia sia la rumorosità che i difetti meccanici della valvola.

COSTRUZIONE di un PROVAVALVOLE

LE SCATOLE di MONTAGGIO

Il lettore che ritiene doversi munire di un apparecchio di misura e di controllo ha, come al solito, due vie: o acquistare il complesso già montato e funzionante, o costruire da se stesso l'assieme in seguito a considerazioni di ordine tecnico ed economico, nonchè per un ben noto senso di amor proprio e soddisfazione tecnica derivante dal lavoro eseguito. In quest'ultimo caso però sorge — per quella e per tutte le eventuali ulteriori costruzioni — un problema: l'apparecchio finito potrà essere pari nei risultati e nell'estetica ad un complesso del commercio? Una risposta a questa più che naturale domanda può essere affermativa solo se la scelta dello schema si orienta su complessi che l'esperienza ha collaudati come idonei a costruzioni singole, non solo, ma anche se il materiale è, in certo qual modo, armonizzante, vale a dire ogni organo è selezionato per svolgere in unione agli altri la sua funzione in modo tecnicamente perfetto.

Stante questa premessa riteniamo che — per un logico concetto di serietà — da parte nostra debbano essere presentate solo apparecchiature che rispondano in pieno alle esigenze testè enunciate. Così abbiamo fatto nei riguardi di due « tester », così faremo per ciò che si riferisce alle future apparecchiature da descrivere, iniziando appunto da questo provavalvole.

La descrizione, per questo complesso non sarà molto dettagliata nei riferimenti della fase costruttiva: ciò è dovuto al fatto che tutto l'assieme del materiale è reperibile in commercio sotto forma di scatola di montaggio corredata da numerosi e chiari disegni che si riferiscono a tale parte del lavoro.

La forma della « scatola di montaggio » rappresenta la soluzione moderna e più idonea per soddisfare le premesse alle quali si è fatto cenno. Costruendo con tale metodo si è certi di avere, a lavoro terminato, un complesso di aspetto e risultato pari alle apparecchiature correnti del commercio. Il lavoro meccanico, la finitura, lo studio della disposizione delle parti e molti altri problemi non preoccupano più: lo strumento ciò nonostante viene ad essere opportunamente conosciuto dal suo costruttore in ogni sua particolarità e, in definitiva, viene ad essere realizzato quel vantaggio economico che è molto spesso il fattore predominante.

Passiamo ora all'esame di un assieme del genere; il primo di una completa serie di apparecchiature di misura che descriveremo. Il suo aspetto nonchè i dati tecnici riassuntivi sono riportati sulla copertina di questo stesso fascicolo.

IL PROVAVALVOLE « T C 3 »

Se l'attività del radiotecnico deve espletarsi principalmente nel ramo delle riparazioni e della vendita, certamente un provavalvole costituisce un'apparecchiatura di reale interesse. È appunto in questo impiego, più che in ogni altro, che l'essere attrezzato per verificare rapidamente lo stato di una valvola può rivelare una pratica utilità ed un conseguente utile economico.

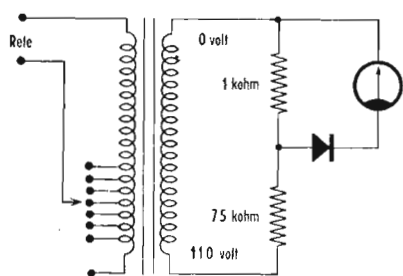
Sotto questo punto di vista, il provavalvole più pratico e di più facile realizzazione è quello che consente la prova dell'emissione catodica: se è pur vero che la prova della conduttanza mutua offre una assai più precisa valutazione, deve essere considerato il fatto che lo scopo dell'apparecchio si limita — per ovvie ragioni — ad una indicazione pratica e veloce. Quando questa indicazione precisa se la valvola (indipendentemente da gravi difetti di struttura che vengono accertati a parte) offre una emissione sufficiente oppure scarsa, è ovvio che ulteriori controlli esulano dal campo della corrente riparazione.

Col « TC 3 » (tale è la denominazione con la quale la Casa costruttrice del materiale lo identifica) può essere provato, praticamente, qualsiasi tipo di valvola, grazie alla studiata scelta degli zoccoli ed alla varietà delle tensioni disponibili per i filamenti. Contribuisce alla elasticità di impiego la possibilità di variare la sensibilità dello strumento ed infine la presenza di molteplici dispositivi di commutazione. Vi figurano dieci commutatori a levetta che consentono il collegamento di un qualsiasi elettrodo ad un altro elettrodo, indipendentemente dalla posizione dei relativi piedini. Una comoda soluzione è stata adottata per quanto riguarda la necessaria tabella di riferimento: essa è avvolta su di un tamburo rotante ed un particolare dispositivo consente un ampia visibilità di tutta la superficie interessata.

Conoscendo le caratteristiche di qualsiasi valvola (i dati in questione vengono forniti normalmente dal costruttore delle valvole), purchè la stessa possa essere inserita in uno degli zoccoli presenti sul pannello, si ha modo di eseguire il controllo. Oltre agli zoccoli previsti per tutti i tipi di valvole correnti, è disponibile uno zoccolo che si può definire di riserva, nel senso che in suo luogo si può adottare in futuro uno zoccolo particolare che si rendesse necessario in conseguenza della comparsa di un tipo di valvola differente dai tipi attualmente in uso.

Il trasformatore per l'accensione del filamento della valvola sotto prova presenta 19 differenti tensioni, che vengono scelte a seconda delle necessità mediante un commutatore. Il trasformatore fornisce inoltre tre diverse tensioni di prova, e precisamente: 30, 100 e 250 volt. A seconda dei controlli che debbono essere effettuati si ha una commutazione dall'una all'altra di tali tensioni: vengono attuati tre circuiti basilari, e precisamente, un circuito per il

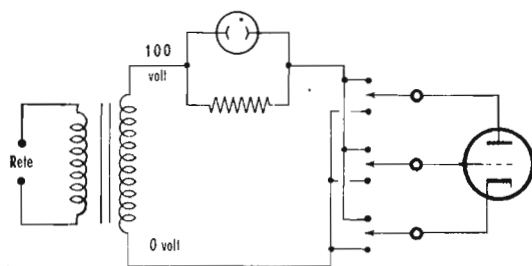
Controllo della tensione di rete

Si ottiene con esso una messa a punto nei confronti della tensione disponibile di rete. Lo schema di **figura 1** illustra questo circuito e si può vedere in esso un commutatore sul primario, che varia il numero delle spire incluse, controllando in tal modo la tensione presente ai capi dei secondari. Quest'ultima, viene letta (opportunamente rettificata) ai capi di un secondario, dallo strumento (previa interposizione del partitore resistivo 1.000-75.000 ohm), al fine di far coincidere l'indice dello strumento

— Figura 1 —

— Figura 3 —

stesso su un apposito contrassegno segnato « line test » (controllo rete). Scopo evidente di questo controllo è di garantire che alla valvola sotto prova vengano applicate le tensioni esatte, rendendo minime le possibilità di un errore di lettura dovuto alla presenza di tensioni troppo alte o troppo basse. Il secondo circuito a mezzo di commutatori predispone il

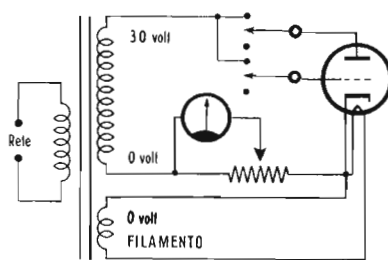
Controllo dei cortocircuiti

Con questa sistemazione circuitale vengono accertati contatti dannosi all'interno della valvola, perdite di isolamento, e viene controllata la continuità del filamento. La **figura 2** illustra questa disposizione. La lampada al neon funge da indicatrice, così come si è già visto nelle pagine precedenti. Lo strumento in questo caso è escluso dal circuito. La resistenza in parallelo alla lampada al neon — allorchè si è in presenza di un cortocircuito nella valvola — provoca l'accensione della lampada in seguito alla caduta di tensione che tale resistenza determina. Aumentando il valore della resistenza in oggetto si aumenta la sensibilità del dispositivo per cui in questo caso si effettuano misure di dispersione. Valori sino a

— Figura 2 —

250.000 ohm di resistenza provocano l'accensione della lampada al neon nella prima disposizione, mentre per la prova di dispersione l'accensione è provocata da valori sino a 2 Megaohm. In quest'ultimo caso occorre tener presente l'ammontare delle dispersioni che in realtà possono essere tollerate nel circuito di impiego della valvola sotto prova.

Il terzo circuito predisposto è relativo alla

Prova del rendimento

La placca e la griglia vengono collegate assieme alla presa del trasformatore che fornisce la tensione di 30 volt (**figura 3**). Il filamento ed il catodo sono a loro volta collegati assieme all'altra presa dell'avvolgimento secondario, tramite un potenziometro (« plate control ») il cui compito è di regolare la sensibilità dello strumento che, in questo caso, è presente nel circuito. La valvola sotto prova si comporta come rettificatrice di una semionda e tutta la corrente emessa dal catodo viene trasferita ad un unico terminale (anodo) attraverso il quale prosegue alla volta dello strumento.

Una valvola buona, allorchè la sensibilità dello strumento è adeguata, denoterà una emissione (ossia una corrente catodica) sufficiente affinchè l'indice dello strumento si porti nella zona contrassegnata « good » (buona) della scala. Se l'emissione è bassa, l'indice si fermerà nella posizione centrale o di sinistra, contrassegnate dalla dicitura « bad » (esaurita).

Poichè tutti gli elettrodi (ad eccezione del catodo) sono collegati assieme alla placca, se uno di essi viene staccato elettricamente ne consegue una diminuzione di corrente anodica. Nel caso in cui, in seguito a questa operazione non si verifichi tale diminuzione, si può dedurre che l'elettrodo in questione presenta una interruzione col suo collegamento esterno. Su di ciò si basa appunto la verifica della continuità di collegamento degli elettrodi. Per alcuni tipi di valvole a gas (ad esempio OZ4, ecc.) viene usata la presa del secondario a 250 volt in luogo di quella a 30 volt.

Uso dell'apparecchio

Il funzionamento di qualsiasi strumento di misura dipende in gran parte dalla abilità dell'operatore, nonchè dalla sua attitudine ad interpretare e a valutare le informazioni fornite dallo strumento stesso. Verrà seguita la procedura qui riportata.

1) Si sposti la tabella a tamburo sino a portate in evidenza i dati relativi alla valvola da provare. Si inserisca la spina di rete (mediante trasformatore di adattamento se la tensione disponibile è superiore ai 120 volt) e si regoli il « controllo rete » sino a portare l'indice dello strumento in posizione centrale.

2) Spostare il commutatore « type » sul numero indicato dalla tabella.

3) Spostare il commutatore « filament » sulla tensione necessaria che è indicata dalla tabella.

4) Regolare il controllo « plate » in conformità a quanto specificato dalla tabella.

5) Predisporre i commutatori a leva nella posizione « T » (« top » = alto) oppure « B » (« bottom » = basso) come indicato nelle relative colonne della tabella.

6) Inserire la valvola nello zoccolo relativo.

7) Controllare la presenza di eventuali cortocircuiti interni alla valvola, spostando i commutatori a leva nelle due posizioni e facendoli tornare nella posizione stabilita dalla tabella. Il selettore sarà su « short » (cortocircuito): anche il commutatore riferito a « short »-« leakage » sarà

— Figura 4 —

in posizione « short ». La lampada al neon indicherà eventuali cortocircuiti: l'accensione deve essere però costante e non costituita da un solo impulso.

8) Ripetere le operazioni di cui sopra ma con il commutatore apposito su « leakage ».

9) Dopo circa 30" dalla accensione, effettuare la prova del rendimento col commutatore in posizione « test ».

10) Per il controllo delle eventuali interruzioni, lasciando sempre su « test », spostare in basso tutti i commutatori a leva e riportarli poi verso l'alto. Ad ogni commutazione deve corrispondere una diminuzione della corrente.

11) Per controllare il filamento, le eventuali prese intermedie dello stesso, e la continuità interna, si porti la manopola contrassegnata « filament » sulla posizione 0,63 V. Spostare tutti i commutatori scuri ciascuno attraverso le altre due posizioni, muovendone uno alla volta. Se il filamento è in buone condizioni, come pure le eventuali prese ed i collegamenti interni, ciò sarà denunciato da una notevole luminosità della lampada al neon.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

C_{gp} = Capacità tra griglia e placca
C_{gk} = Capacità tra griglia e catodo
C_{pk} = Capacità tra placca e catodo
E_a = Alimentazione per accensione filamento
E_b = Alimentazione anodica (di placca)
E_c = Tensione di polarizzazione
E_g = Tensione di griglia
g_m (a volte G_m) = Conduttanza mutua
I_c = Corrente di griglia
I_g = Corrente di griglia
R_c = Resistenza di carico
R_L = Resistenza di carico
R_p = Resistenza di placca (statica o dinamica)
Δ = Lettera greca « delta ». Piccola variazione in più o in meno di una quantità qualsiasi.
ΔE_g = Variazione della tensione di griglia
ΔE_p = Variazione della tensione di placca
ΔI_p = Variazione della corrente di placca
μ = Fattore (coefficiente) di amplificazione

FORMULE

$$\mu = \frac{\Delta E_p}{\Delta E_g} \quad (I_p \text{ costante})$$

$$g_m = \frac{\Delta I_p}{\Delta E_g} \quad (E_p \text{ costante})$$

$$R_p = \frac{\Delta E_p}{\Delta I_p} \quad (E_g \text{ costante}) = \text{Resistenza dinamica di placca}$$

$$R_p = \frac{E_p}{I_p} = \text{Resistenza statica di placca}$$

$$R_p = \mu : g_m$$

$$\mu = g_m \times R_p$$

$$g_m = \mu : R_p$$

SEGNI SCHEMATICI

 = Griglia di una valvola

 = Triodo ad accensione diretta

 = Triodo ad accensione indiretta

DOMANDE sulle LEZIONI 46ª e 47ª

N. 1 —
Quale è, in un triodo, il compito della griglia?

N. 2 —
Come si chiama la tensione di griglia che provoca la cessazione della corrente anodica?

N. 3 —
È possibile aumentare a piacere la corrente anodica di un triodo?

N. 4 —
In quale modo viene definito il coefficiente di amplificazione di una valvola?

N. 5 —
Per quale motivo si cerca di far funzionare una valvola lungo il tratto rettilineo della sua curva caratteristica?

N. 6 —
Nella figura 12 della lezione 46ª, se la resistenza di carico è di 100.000 ohm, la tensione di alimentazione è di 300 volt, e la polarizzazione di griglia è di —3 volt, applicando un segnale di ingresso alternato avente una d.d.p. di 2 volt tra picco e picco, entro quali limiti varia la tensione di placca? A quanto ammonta il coefficiente di amplificazione?

N. 7 —
Cosa si intende per « conduttanza mutua »?

N. 8 —
Per quale motivo tra le variazioni della tensione di griglia, e le variazioni della tensione di placca corrispondenti esiste uno sfasamento di 180°?

N. 9 —
In quanti modi è possibile polarizzare la griglia di un triodo?

N. 10 —
In quale modo si determina il valore della resistenza presente in serie al catodo, in un triodo ad accensione indiretta?

N. 11 —
Come è possibile evitare la presenza di tensione alternata sulla griglia di un triodo ad accensione diretta, se il filamento viene acceso proprio con tensione alternata?

N. 12 —
Quanti sistemi esistono per la prova di una valvola?

N. 13 —
In quale modo si effettua, in una valvola, il controllo del vuoto?

N. 14 —
Per quale motivo la prova dei corto-circuiti interni di una valvola non può essere effettuata con un comune ohmetro, verificando la continuità tra le coppie di piedini?

N. 15 —
Perchè una valvola può non essere buona, pur avendo il filamento funzionante e pur non denotando alcun difetto interno nè di contatto nè di corto circuito?

N. 16 —
È possibile conoscere il valore della corrente anodica senza l'uso di un milliampèrometro?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 353

N. 1 — L'uscita di elettroni dal catodo. Essi se ne allontanano velocemente se vengono attratti da una carica positiva.

N. 2 — L'incandescenza, la quale aumenta la velocità di rotazione degli elettroni, e ne provoca l'allontanamento dagli atomi cui appartengono per forza centrifuga.

N. 3 — Esso ha il compito di emettere elettroni, ossia agisce da catodo. In una valvola a riscaldamento indiretto ha invece il solo compito di rendere incandescente il catodo.

N. 4 — Perchè, essendo minima la distanza, una tensione eccessiva potrebbe causare un corto circuito. Esistono però valvole speciali appositamente costruite, nelle quali detta differenza di potenziale può raggiungere valori elevati.

N. 5 — Gli elettroni che gravitano intorno al catodo.

N. 6 — Quattro tipi principali: semplici, a riscaldamento diretto ed indiretto, e doppi, anch'essi a riscaldamento diretto o indiretto.

N. 7 — Perchè consente il passaggio della corrente in una unica direzione, ossia dal catodo (o filamento) alla placca.

N. 8 — Le « pulsazioni continue » sono intervallate da istanti in cui la tensione manca nel primo caso; sono invece immediatamente successive nel secondo.

N. 9 — Se la tensione è inferiore l'emissione elettronica diminuisce, se invece è superiore essa aumenta, col pericolo però di bruciare il filamento.

N. 10 — Perchè i rettificatori metallici eliminano la necessità di disporre di sorgenti di tensione separate o comunque bene isolate per l'accensione dei filamenti.

N. 11 — La tensione alternata da rettificare è doppia della tensione continua disponibile in uscita.

N. 12 — Perchè la corrente di uscita, pur essendo pulsante, non è intervallata da periodi di assenza durante la fase di non conduzione da parte di uno dei diodi.

N. 13 — Mediante l'applicazione di un « filtro ».

N. 14 — Negli istanti in cui la tensione viene a mancare, esso restituisce buona parte della carica ricevuta, mantenendo costante la corrente.

N. 15 — Per proteggerli del pericolo di scarica attraverso il dielettrico negli istanti in cui la tensione applicata è particolarmente elevata, specie se manca il carico.

N. 16 — Consentire il passaggio della corrente continua, offrendo invece una resistenza elevata alla componente alternata dovuta alle ondulazioni del valore di picco. In tal modo essa contribuisce a rendere continua, ossia a livellare, una corrente pulsante.

N. 17 — La tensione presente ai capi del o dei condensatori di filtro aumenta notevolmente. Ciò è alquanto pericoloso, a meno che non esistano resistenze di protezione collegate in parallelo.

N. 18 — Mediante l'applicazione di un partitore di tensione costituito da resistenze opportunamente calcolate.

La tabella 63 raggruppa le più comuni potenze del numero 10, ed i relativi valori numerici, sia con esponente positivo che negativo. La sua utilità si rivela, ad esempio, nella trasformazione in microampère di un valore espresso in ampère, e deve essere tenuta presente specie per l'argomento che quì di seguito viene considerato, ma non deve impedire al lettore di imparare ad effettuare il calcolo da sè.

TABELLA 63 — VALORI delle POTENZE di 10

POTENZA	VALORE	POTENZA	VALORE
10^{-6}	0,000001	10^{7}	10
10^{-5}	0,00001	10^{6}	100
10^{-4}	0,0001	10^{5}	1.000
10^{-3}	0,001	10^{4}	10.000
10^{-2}	0,01	10^{3}	100.000
10^{-1}	0,1	10^{2}	1.000.000
10^{0}	0	10^{1}	10.000.000

I LOGARITMI

A pagina 7 (lezione 1ª) abbiamo ritenuto opportuno chiarire — con alcune brevi note — il concetto di « potenza » intesa in senso matematico. Ciò perchè la sua applicazione ricorre sovente nei calcoli relativi all'elettronica, per quanto semplici essi siano.

Al punto al quale siamo giunti, per consentire a coloro che non hanno in questo campo sufficienti cognizioni, di comprendere ed assimilare il significato dell'unità di misura con la quale si valuta l'amplificazione o l'attenuazione di un segnale, è necessario dedicare un po' dello spazio disponibile ai logaritmi. Sulla loro applicazione si basano infatti varie operazioni matematiche che sarebbero altrimenti difficili — se non impossibili — da risolvere.

Non intendiamo con questo imporre al lettore lo studio di una parte della matematica come condizione « sine qua non » per diventare un buon radiotecnico: specifichiamo però che, mediante l'attenta lettura di queste poche pagine, è possibile acquisire quelle nozioni che potranno facilitare notevolmente la comprensione di concetti più complessi, la cui conoscenza è invece indispensabile.

L'amplificazione e l'attenuazione — infatti — due fenomeni strettamente legati al funzionamento delle valvole e dei transistori, vengono entrambe misurate in **decibel**. Questa unità di misura è — come vedremo in seguito — fondata appunto sui logaritmi. Sebbene tale unità di misura possa essere impiegata anche senza la conoscenza matematica dei logaritmi, è tuttavia di estrema utilità conoscerli e saperli applicare, specie per il fatto che consentono calcoli relativamente semplici ed abbastanza precisi.

A questo punto occorre fare una considerazione. Molte delle operazioni che esporremo qui di seguito come esempio di applicazione dei logaritmi, possono essere svolte, in realtà, anche più semplicemente con la sola aritmetica. I logaritmi diventano però utilissimi nel calcolo di po-

tenze con esponenti elevati e con basi di diverse cifre.

Abbiamo chiarito, a suo tempo, il significato di potenza, ed il valore di un esponente; è facile comprendere, sapendo ciò, cosa sia un logaritmo: infatti, **il logaritmo di una quantità è l'esponente al quale un dato numero deve essere elevato al fine di ottenere la quantità stessa.**

Per maggiore chiarezza ricorriamo ad un esempio: sappiamo che l'espressione 3^2 (3 « alla seconda » o « al quadrato ») equivale a 9. Ciò significa che 2 è l'esponente che dobbiamo dare al numero 3 per ottenere la quantità 9.

Dal punto di vista logaritmo, si dice che il **« logaritmo » di 9 « in base » 3 è 2**, e si scrive $\log_3 9 = 2$.

Da ciò apprendiamo che i logaritmi sono sempre riferiti ad una certa **base**: quest'ultima rappresenta la base di una potenza che, elevata ad un esponente pari al logaritmo, dà per risultato la quantità considerata.

Qualsiasi numero positivo, purchè maggiore di 1, può essere preso come base. Per motivi sui quali non riteniamo opportuno dilungarci, sono stati presi due numeri particolari, dai quali derivano due sistemi di logaritmi che — praticamente — si equivalgono.

Uno di essi è rappresentato simbolicamente dalla lettera greca « ε » (leggi « epsilon »), il cui valore approssimativo è 2,718, e l'altro è il numero 10.

Tutti i logaritmi aventi come base ε sono detti « naturali », mentre quelli aventi base 10 sono detti « decimali » o « comuni ».

Quando in una espressione logaritmica non è indicata la base, si intende che essa è 10. Ad esempio, l'espressione « log 1.000 = 3 » rappresenta un logaritmo decimale, e significa che 3 è l'esponente che si deve dare alla base 10 (sottintesa) per ottenere 1.000: infatti $10^3 = 1.000$.

I logaritmi comuni o decimali sono le potenze esatte ed integre del numero 10, delle quali abbiamo pubblicato una tabella riassuntiva a pagina 378, per cui si ha:

$$\log 0{,}001 = -3 \text{ in quanto } 0{,}001 = 10^{-3}$$
$$\log 0{,}01 = -2 \text{ in quanto } 0{,}01 = 10^{-2}$$
$$\log 0{,}1 = -1 \text{ in quanto } 0{,}1 = 10^{-1}$$
$$\log 1 = 0 \text{ in quanto } 0 = 10^{0}$$
$$\log 10 = 1 \text{ in quanto } 10 = 10^{1}$$
$$\log 100 = 2 \text{ in quanto } 100 = 10^{2}$$
$$\log 1.000 = 3 \text{ in quanto } 1.000 = 10^{3}$$

e così via.

Come si nota, il logaritmo di un numero pari ad una potenza esatta di 10, ossia pari ad una potenza avente la base 10 ed un esponente qualsiasi, sia positivo che negativo, può essere calcolato molto semplicemente valutando gli « zeri » che seguono il numero 1, o il numero delle cifre presenti dopo la virgola, nel caso si tratti di un numero decimale.

Ad esempio, il logaritmo di 0,000001 è pari a —6. Sei, in quanto tale è il numero delle cifre che seguono la virgola (5 zeri ed il numero 1), e negativo in quanto si tratta di un numero inferiore all'unità. Per contro, il logaritmo di 100.000 è 5: tale è infatti il numero degli zeri che seguono l'unità, ed è positivo perchè si tratta di un numero non decimale, ossia una potenza esatta di 10, maggiore di 1.

Da ciò possiamo dedurre la prima regola: **il logaritmo di un numero minore di 1 è negativo, e quello di un numero maggiore di 1 è positivo.**

Per i numeri — invece — che non sono una potenza esatta di 10, il logaritmo consta di due parti, e precisamente di una parte intera e di una decimale: la prima, che figura a sinistra della virgola, si chiama **caratteristica**, e la seconda, posta invece a destra della **virgola**, si chiama **mantissa.**

Determinazione della « caratteristica »

A differenza del calcolo del logaritmo di una potenza esatta di 10, il calcolo del logaritmo di un numero qualsiasi viene effettuato in un modo più complesso.

1) La « caratteristica » del logaritmo di un numero che non coincide con una potenza esatta di 10, ma che è maggiore di 1, è sempre **positiva**, ed è pari al numero delle cifre che si trovano a sinistra della virgola, diminuito di 1.
   Ad esempio, nel numero 59,5 abbiamo due cifre a sinistra della virgola, e precisamente un 5 ed un 9; poichè 2 — 1 = 1, la « caratteristica » del logaritmo di 59,5 è 1. Se il numero è 5,95, abbiamo una sola cifra a sinistra della virgola, ossia soltanto il numero 5; in tal caso 1 — 1 = 0, per cui la « caratteristica » del logaritmo di 5,95 è 0. Nel numero 595 — invece — (che può essere scritto indifferentemente 595,0, in quanto ciò non ne altera il valore), abbiamo 3 cifre a sinistra della virgola, per cui la « caratteristica » del suo logaritmo è 2.

2) La « caratteristica » del logaritmo di un numero che non coincide con una potenza esatta di 10, e che è minore di 1, è **negativa**, ed è pari al numero degli zeri che si trovano a destra della virgola, aumentato di una unità.
   Ad esempio, nel numero 0,0595, alla destra della virgola figura un solo zero, e poichè 1 + 1 = 2, la « caratteristica » del suo logaritmo è —2. Se il numero fosse stato 0,000595, avremmo avuto tre zeri a destra della virgola, per cui la « caratteristica » sarebbe stata 3 + 1 = 4, ossia —4. Nel numero 0,595 — invece — non figurano zeri a destra della virgola, e poichè 0 + 1 = 1, la « caratteristica » del logaritmo è —1.

Una importante particolarità della « caratteristica » dei logaritmi di numeri inferiori all'unità, è che la relativa « caratteristica », pur essendo negativa, non deve essere preceduta dal segno —. Infatti, come vedremo tra breve, la parte negativa è soltanto la « caratteristica », e non l'intero logaritmo compresa la mantissa.

Esistono due metodi distinti per contrassegnare una « caratteristica » negativa. Uno consiste nel riportare il segno — non a sinistra, bensì sopra al numero o ai numeri costituenti la « caratteristica » (ad esempio $\bar{3}$ per indicare —3). Dell'altro metodo ci occuperemo tra breve.

Determinazione della « mantissa »

La matissa è — ripetiamo — la parte di un logaritmo che si trova a destra della virgola. Essa può essere calcolata soltanto mediante le **tavole logaritmiche**. Dette tavole richiedono un certo numero di pagine, e — per esigenze di spazio — non ci è possibile pubblicarle. Possono però essere acquistate ad un prezzo molto modesto presso qualsiasi libreria, e sono generalmente accompagnate da istruzioni sull'impiego relativo.

La prima regola da considerare per il calcolo della mantissa, è che il suo valore è assolutamente indipendente dalla posizione della virgola (che può essere ignorata) nel numero di cui si desidera calcolare il logaritmo. Come vedremo tra breve, la mantissa di 595 è 0,7745 e tale è anche la mantissa di 59,5 o di 5,95. Dal momento che il logaritmo è composto da una « caratteristica » e da una mantissa, ciò che costituisce la differenza tra i due numeri ora citati è la « caratteristica », che equivale a 2 nel primo caso ora citato, a 1 nel secondo ed a 0 nel terzo.

Dopo aver determinato la « caratteristica » del numero del quale si desidera trovare il logaritmo (nel modo precedentemente illustrato), si ricava dunque la mantissa dalle tavole logaritmiche. Le mantisse riportate sulle tavole costituiscono la parte decimale del logaritmo ed in quest'ultimo devono essere, pertanto, precedute dalla virgola.

A questo punto, è bene chiarire che esistono tavole logaritmiche a 4 ed a 5 decimali. Ovviamente, le seconde sono più esatte delle prime, per cui le istruzioni che qui riportiamo si riferiscono ad esse.

Generalmente le tavole hanno inzio con una prima parte, nella quale sono elencati i numeri compresi tra 1 e 99 (10 e 100 sono esclusi in quanto potenze esatte di 10). Questa prima parte facilita il calcolo di un logaritmo nel quale, eliminati gli zeri e la virgola, che servono per la determinazione della « caratteristica », non rimangono che una o due cifre significative.

Supponiamo di dover calcolare il logaritmo di 38 (che può essere considerato 38,0). Il numero è certamente maggiore di 1, per cui la « caratteristica » è senz'altro positiva, ed è data da, 2 cifre — 1 = 1. Oltre a ciò, le cifre significative sono due, e precisamente il 3 e l'8. La mantissa del numero 38 è 0,57978; di conseguenza possiamo scrivere:

$$\log 38 = 1{,}57978$$

Supponiamo ora di dover calcolare il logaritmo del numero 0,0038. Esso è certamente minore di 1, per cui la « caratteristica » è senz'altro negativa. Come sappiamo, essa è pari a 2 zeri + 1 = 3, ossia —3. Ciò fatto, le cifre significative (a parte gli zeri e la posizione della virgola, che non ci interessano più) sono ancora due, e precisamente il 3 e l'8. La mantissa è dunque ancora la medesima, per cui possiamo scrivere:

$$\log 0{,}0038 = \bar{3}{,}57978$$

Una volta chiarito il concetto di mantissa, possiamo illustrare il secondo metodo col quale si può esprimere una « caratteristica » negativa.

Il primo è quello che abbiamo ora impiegato. Il secondo consiste nel sommare alla « caratteristica » negativa il numero 10, rendendola così positiva, e nel sottrarre poi il numero 10 dall'intero logaritmo. In altre parole, l'espressione sopra riportata può essere scritta anche come segue:

$$\log 0{,}0038 = 7{,}57978 - 10$$

Vediamo ora come si determina — a mezzo delle tavole — la mantissa di un logaritmo nel cui numero originale figurano tre cifre significative.

Le tavole con cinque decimali constano di una colonna, generalmente contrassegnata « N », nella quale sono elencati i numeri progressivi da 100 a 999, e di 10 colonne secondarie contrassegnate da 0 a 9. Le tre cifre significative devono essere individuate, nell'ordine in cui si trovano nel numero originale, nella colonna « N ». In corrispondenza di tale numero, nella colonna contrassegnata « 0 » immediatamente affiancata, si trova la mantissa. Essa consta di 5 numeri, di cui i primi due elencati a parte, e gli altri tre incolonnati alla loro destra.

Ad esempio, supponiamo di dover trovare il logaritmo dei numeri 256 (ossia 256,0) - 25,6 - 2,56 e 0,00256. Determinando la « caratteristica » nel modo consueto, e cercando la mantissa nelle tavole, in corrispondenza del numero 256 (costante in tutti e quattro i casi, in quanto tali sono le cifre significative del numero, indipendentemente dalla virgola e dagli zeri ai quali ci riferiamo solo nei confronti della « caratteristica » stessa), abbiamo:

$$\log 256 = 2{,}40824$$
$$\log 25{,}6 = 1{,}40824$$
$$\log 2{,}56 = 0{,}40824$$
$$\log 0{,}00256 = \bar{3}{,}40824 \text{ oppure } 7{,}40824 - 10$$

Come si vede, la mantissa è la medesima in tutti i logaritmi, in quanto riferita alle sole cifre significative, mentre ciò che varia è la sola « caratteristica ».

Nei confronti della colonna « 0 », è opportuno rilevare che la colonna delle prime due cifre, intervallata da spazi vuoti, deve essere sempre considerata **dall'alto in basso**, e che ogni coppia di detti numeri si accompagna a tutti i gruppi di tre cifre riportati a destra (nelle varie colonne), finchè non viene sostituita da un'altra coppia.

Ad esempio, la mantissa del numero 252 è ,40140; per il numero successivo, ossia 253, è ancora valida la coppia di numeri 40, e ad essa si accompagna il gruppo di tre cifre corrispondente al 253, ossia 312. Di conseguenza, la mantissa di 253 sarà ,40312. La coppia « 40 » deve essere considerata fino al numero progressivo 257, la cui mantissa è ,40993, mentre a partire dal numero 258, fino al 263 compreso, la mantissa avrà come primi due numeri la coppia 41, abbinata al gruppo di tre cifre corrispondente al numero considerato.

La ricerca della mantissa del logaritmo di un numero avente quattro ciifre significative è altrettanto semplice. Le prime tre cifre, considerate nell'ordine in cui si trovano, devono essere individuate nella colonna « N », mentre la quarta cifra, che può essere compresa tra 1 e 9, è riferita alle colonne affiancate, e contrassegnate appunto con tali numeri. Una volta trovate le prime tre, si segue la linea orizzontale corrispondente, verso destra, fino ad incontrare il gruppo di tre cifre presente nella colonna contrassegnata con la quarta cifra significativa.

Ad esempio, dovendo determinare la mantissa di 1569, si cerca nella colonna « N » il numero 156, e si prosegue sulla medesima riga orizzontale fino ad incontrare il gruppo di tre cifre presente nella colonna « 9 ». I primi due numeri (coppie separate) della colonna « 0 » costituiscono sempre i primi due della mantissa, ai quali fanno seguito i tre numeri della colonna laterale. Nel nostro caso la mantissa è ,19562.

A questo punto si presenta un'altra regola. Può accadere che nel gruppo di tre cifre della colonna laterale (corrispondente alla quarta cifra significativa), sia presente un trattino orizzontale sopra alla prima di esse, analogo a quello che si riporta sulla « caratteristica » per

renderla negativa. Esso significa che nella mantissa, la prima coppia di cifre da considerare nella colonna « 0 » non è la precedente, bensì la successiva.

Si debba — *ad esempio* — trovare la mantissa del numero 4268. Come è noto, si cerca nella colonna « N » il numero 426, al quale, nella colonna « 0 » dovrebbe corrispondere la prima coppia 62. Si prosegue poi verso destra fino ad incontrare il gruppo di tre cifre nella colonna « 8 ». Tale gruppo è appunto $\overline{0}22$. Ciò significa che la prima coppia di numeri non è 62, bensì 63; la mantissa è dunque ,63022.

Esempi: si calcolino i logaritmi dei numeri seguenti: 3458 - 280,4 - 3,567 e 0,4787. Applicando le regole enunciate abbiamo:

log 3458 = 3,53882
log 280,4 = 2,44778
log 3,567 = 0,55230
log 0,4787 = $\overline{1}$,68006 oppure 9,68006 —10

In quest'ultimo caso la prima coppia di numeri della mantissa è 68 anzichè 67, a causa del trattino presente nel gruppo di tre cifre della colonna « 7 ».

La mantissa del logaritmo di un numero costituito da cinque cifre significative può essere calcolata in un modo leggermente più complesso, e precisamente mediante un metodo detto di « interpolazione ».

La progressione dei logaritmi non è « lineare », in quanto, rappresentando la differenza tra due valori con un segmento di data lunghezza, la metà di detta differenza non corrisponde al centro del segmento stesso. Tuttavia, trattandosi di una quinta cifra decimale, la « non linearità » determina differenze talmente trascurabili che, agli effetti pratici, la progressione dei numeri può essere considerata lineare.

Per questo motivo, si approssima il numero di 5 cifre significative al numero immediatamete inferiore terminante con 0, ottenendo così un numero di quattro cifre significative, e si somma al logaritmo la differenza ricavata da una tavola redatta a parte, presente su ogni pagina delle tavole logaritmiche. Si tratta di tavole secondarie che riportano il logaritmo della differenza (D) omessa per comodità di calcolo.

Esempio: si calcoli il logaritmo del numero 47,328. Detto numero è compreso tra 47,320 e 47,330. La caratteristica del logaritmo è, come ben sappiamo, 1. Ciò stabilito, si cerca nella colonna « N » il numero 473, e si prosegue come se si dovesse calcolare il logaritmo di 47,320, fino cioè alla colonna « 2 ». Si ha pertanto che

log 47,320 = 1,67504

Il logaritmo del numero di quattro cifre significative immediatamente superiore, ossia di 47,330, è

log 47,330 = 1,67514

La differenza « D » tra detti due logaritmi (ossia tra i due gruppi finali di tre cifre ciascuno) è 514 — 504 = 10. Una volta individuato quest'ultimo valore nella tabella allegata alla pagina delle tavole su cui sono stati calcolati i due logaritmi approssimati, si segue la linea orizzontale relativa fino ad incontrare la colonna « 8 » corrispondente al numero che è stato trascurato all'inizio (abbiamo infatti considerato il log. di 47,320 invece che di 47,328). In corrispondenza della differenza 10 (D) troviamo nella colonna « 8 » il numero 8,0 che andrà aggiunto al logaritmo di 47,320 per avere quello di 47,328 con sufficiente approssimazione. Di conseguenza:

log 47,328 = 1,67504 +
8,0
———
= 1,67512

(La parte decimale della differenza viene trascurata di proposito, per cui si somma soltanto 8).

Esempi: trovare il logaritmo dei seguenti numeri: 3,4576 - 0,0032774 e 1877,2

log 3,4576 = 0,53870 +
7
———
= 0,53877

log 0,0032774 = $\overline{3}$,51548 +
5
———
= 3,51553 (oppure = 7,51553 —10)

log 1877,2 = 3,27346 +
9
———
= 3,27355

Determinazione del numero conoscendo il logaritmo

Il numero corrispondente ad un dato logaritmo è detto **antilogaritmo del numero.** Viene indicato dal simbolo **antilog** oppure « $\log^{-1}$ ». Esso può essere calcolato procedendo a ritroso nei confronti del metodo di calcolo del logaritmo.

Si inizia, infatti, cercando la mantissa nelle tavole logaritmiche, e, una volta trovatala, si stabilisce la posizione della virgola in base al valore della « caratteristica ». Se essa è positiva, la virgola si trova a destra di tante cifre del numero trovato, (cominciando da destra) quante ne indica la « caratteristica », aumentata di 1. Se invece essa è negativa, il numero trovato deve essere preceduto da tanti zeri quanti ne indica la « caratteristica » del logaritmo, diminuito di 1, oltre i quali si scriverà la virgola, preceduta a sua volta da uno zero.

Per maggiore semplicità, ci serviremo di alcuni degli esempi riportati per illustrare il calcolo di logaritmo, procedendo però in senso inverso.

I° caso: si desidera calcolare l'antilogaritmo di 1,57978.
Si inizia cercando nella colonna « 0 » delle tavole il numero 57 (prima coppia della mantissa), dopo di che si trova, tra le righe orizzontali ad esso riferite, il gruppo dei tre numeri successivi (978). Ciò fatto, partendo dal numero 978 si segue la linea orizzontale verso sinistra, fino ad incontrare la colonna « N », nella quale figura in corrispondenza il numero 380.
La « caratteristica » del numero di cui dobbiamo calcolare l'antilogaritmo è 1. Ciò significa che la virgola deve avere alla sua sinistra due cifre (1 + 1). L'antilogaritmo sarà pertanto 38,0.
Se il numero di cui si deve calcolare l'antilogaritmo è 3,57978 il numero trovato sulle tavole mediante la mantissa è sempre 380; la posizione della virgola però è

diversa, in quanto una caratteristica pari a 3 significa che prima del numero 380 devono essere riportati $3-1=2$ zeri. In tal caso l'antilogaritmo è 0,0038.

II° caso: si desidera calcolare l'antilogaritmo di 0,40824. Nella colonna « 0 » si cerca il numero 40, e nelle righe orizzontali della medesima colonna si cerca il gruppo di tre cifre 824. Proseguendo verso sinistra, nella colonna « N » si trova il numero 256. La caratteristica non presenta alcuno zero a destra della virgola. Ciò significa che, nell'antilogaritmo, la virgola deve essere a $0+1$ cifre a destra del primo numero. L'antilogaritmo è pertanto 2,56.

III caso: si desidera calcolare l'antilogaritmo di 2,44778. Nella colonna « 0 » si trova il numero 44, mentre il gruppo di tre cifre 778 è nella colonna « 4 », tra le righe riferite al numero 44. A sinistra di quest'ultimo gruppo, nella colonna « N », troviamo il numero 280, al quale affianchiamo, a destra, il numero 4, ottenendo 2804. La caratteristica del numero di cui si sta calcolando l'antilogartmo è 2, per cui la virgola sarà dopo la $2+1=3^a$ cifra a partire da sinistra. L'antilogaritmo del numero è pertanto 280,4.

IV° caso: si desidera trovare l'antilogaritmo di $\bar{3},51553$. Nella colonna « 0 » possiamo facilmente trovare la prima coppia di numeri della mantissa, ossia 51, mentre in nessuna delle righe orizzontali ad essi riferite troviamo il gruppo di tre cifre 553. Esso è però compreso tra i due gruppi più prossimi « in difetto » (ossia immediatamente inferiore) ed « in eccesso » (ossia immediatamente superiore): 548 e 561. La differenza tra questi due gruppi ammonta a 13, mentre quella tra il gruppo di tre cifre della mantissa data (553) e quella immediatamente inferiore (548) è 5.
Nella tabellina aggiunta alla tavola nella quale figura il primo gruppo di due cifre (51), troviamo il numero 13, e, proseguendo orizzontalmente verso destra, troviamo il numero più prossimo alla differenza tra la mantissa data e quella approssimata. Il numero 5,2 è il più prossimo alla differenza 5, e figura nella colonna « 4 ». Tale numero dovrà essere affiancato all'antilogaritmo della mantissa approssimata per difetto, per ottenere l'antilogaritmo della mantissa data.
Si ottiene così il numero 32774. Non rimane che trovare il posto della virgola. La caratteristica negativa del numero originale, 3, ci dice che il numero è preceduto da due zeri prima della virgola. Di conseguenza:

$$\text{antilog } \bar{3},51553 = 0,0032774$$

OPERAZIONI con i LOGARITMI

Moltiplicazione

Per moltiplicare due quantità, si sommano i rispettivi logaritmi e si trova l'antilogaritmo del risultato. Supponiamo di dover moltiplicare 6.952 per 437: ricorrendo alla regola abbiamo:

$$\begin{aligned}\log (6.952 \times 437) &= \log 6.952 + \log 437\\ &= 3,84211 + 2.64048\\ &= 6,48259\end{aligned}$$

da cui:

antilog 6,48259 = 3.038.000 che è appunto il prodotto abbastanza approssimato dei due fattori.

Divisione

Per dividere due quantità, si sottraggono i rispettivi logaritmi e si trova l'antilogaritmo del risultato. Supponiamo di dover dividere 3.422 per 827. Applicando la regola abbiamo:

$$\begin{aligned}\log (3.422 : 827) &= \log 3.422 - \log 827\\ &= 3,53428 - 2,91751\\ &= 0,61677\end{aligned}$$

da cui:

antilog 0,61677 = 4,1378 che è appunto il quoziente abbastanza approssimato dei due numeri.

Elevazione a potenza

Per elevare qualsiasi numero a qualsiasi potenza, è sufficiente moltiplicare l'esponente per il logaritmo della base, dopo di che si trova l'antilogaritmo del risultato. Supponiamo di dover elevare il numero 354 all'ottava potenza, (354^8). In luogo di moltiplicare sette volte il numero 354 per se stesso, si può scrivere

$$\begin{aligned}\log 345^8 &= 8 \log 345\\ &= 8\ (2,53782)\\ &= 20,30256\end{aligned}$$

da cui:

antilog 20,30256 = 200.060.000.000.000.000.000 che è appunto il valore abbastanza approssimato della potenza.
Il calcolo aritmetico (lievemente più esatto), avrebbe richiesto un tempo notevolmente maggiore.

Estrazione di radice

Per estrarre una radice di qualsiasi indice da qualsiasi numero, è sufficiente dividere il logaritmo del numero per l'indice della radice, dopo di che si calcola l'antilogaritmo del risultato.
Supponiamo *ad esempio* di dover calcolare il valore di $\sqrt[3]{1,572}$. Applicando la regola abbiamo:

$$\begin{aligned}\log \sqrt[3]{1,572} &= \frac{1}{3} \log 1,572 \quad (\text{pari a } \log 1,573:3)\\ &= \frac{1}{3}\ 0,19645 \quad (\text{ossia } 0,19645:3)\\ &= 0.06548\end{aligned}$$

da cui:

antilog 0,06548 = 1,1620, che è appunto il valore della radice.

LOGARITMI NATURALI

Per il calcolo di un logaritmo naturale (ossia « in base ε » invece che « in base 10 »), è ancora possibile usare le tavole dei logaritmi decimali mediante la seguente formula di conversione. Detto « A » il numero di cui si deve trovare il logaritmo naturale, si ha:

$$\log_\varepsilon A = 2,3026 \log A$$

e, viceversa,

$$\log A = 0,4343 \log_\varepsilon A$$

Circa i calcoli e le operazioni che è possibile effettuare con i logaritmi naturali, valgono le medesime regole enunciate per i logaritmi decimali.